

PERHITUNGAN KETERSEDIAAN AIR PERMUKAAN DI INDONESIA BERDASARKAN DATA SATELIT

COMPUTATION OF SURFACE WATER AVAILABILITY IN INDONESIA BASED ON SATELLITE DATA

Radhika^{1*)} Rendy Firmansyah¹⁾ Waluyo Hatmoko¹⁾

¹⁾ Puslitbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat,
Jl. Ir. H. Juanda 193, Bandung 40135, Indonesia.

*e-mail: radheika@yahoo.com

ABSTRAK

Informasi mengenai jumlah air yang tersedia sangat vital dalam pengelolaan sumber daya air. Sayangnya informasi kondisi data hidrologi, baik data debit sungai, maupun data hujan keberadaannya sangat terbatas secara temporal dan spasial. Dengan tersedianya teknologi satelit, maka curah hujan pada wilayah tropis dapat dipantau dan direkam untuk analisis lebih lanjut. Makalah ini membahas perhitungan ketersediaan air permukaan berdasarkan data hujan dari satelit TRMM, dan selanjutnya dioleh dengan model hujan-aliran terdistribusi Wflow untuk memberikan data limpasan bulanan runtut waktu dari tahun 2003 sampai dengan 2015 untuk seluruh wilayah sungai di Indonesia. Disimpulkan bahwa jumlah ketersediaan air permukaan rata-rata di Indonesia adalah sebesar 88,3 ribu m³/s atau setara dengan 2,78 triliun m³/tahun. Angka ini lebih rendah dari studi Puslitbang Sumber Daya Air tahun 2010 berdasarkan debit di pos duga air yang menghasilkan angka 3,9 triliun m³/tahun, serta sangat dekat dengan kajian Aquastat FAO yaitu 2,79 triliun m³/tahun. Manfaat utama dari perhitungan berbasis satelit ini adalah bahwa di lokasi manapun di Indonesia, dapat diperoleh potensi air permukaan dengan mengalikan luas daerah tangkapan air dan tinggi limpasaannya.

Kata kunci: Ketersediaan air, hidrologi, limpasan, wilayah sungai, distrik air, TRMM

ABSTRACT

Information on water availability is vital in water resources management. Unfortunately, information on the condition of hydrological data, either river flow data, or rainfall data is very limited temporally and spatially. With the availability of satellite technology, rainfall in the tropics can be monitored and recorded for further analysis. This paper discusses the calculation of surface water availability based on rainfall data from TRMM satellite, and then Wflow, a distributed rainfall-runoff model generates monthly time runoff data from 2003 to 2015 for all river basin areas in Indonesia. It is concluded that the average surface water availability in Indonesia is 88.3 thousand m³/s or equivalent to 2.78 trillion m³/year. This figure is lower than the study of Water Resources Research Center 2010 based on discharge at the post estimated water that produces 3.9 trillion m³/year, but very close to the study of Aquastat FAO of 2.79 trillion m³ / year. The main benefit of this satellite-based calculation is that at any location in Indonesia, potential surface water can be obtained by multiplying the area of the catchment and the runoff height.

Keywords: Water availability, hydrology, river basin area, water district, TRMM

PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air. Pendayagunaan sumber daya air adalah upaya penatagunaan, penyediaan, penggunaan, pengembangan, dan pengusahaan sumber daya air secara optimal agar berhasil guna dan berdaya guna. Dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya pendayagunaan sumber daya air, data dan informasi mengenai jumlah potensi air yang tersedia sangatlah penting, sebab tentunya perlu diketahui ada berapa jumlah air yang tersedia untuk digunakan, dikembangkan, dan diusahakan. Sayangnya kondisi data dan informasi hidrologi di Indonesia masih minim, baik dalam ketersediaan data maupun kualitasnya (Fulazzaky, 2014). Sementara itu untuk analisis frekuensi serta simulasi sistem tata air diperlukan data debit runtut waktu yang stasioner, konsisten, dan homogen (Dahmen & Hall, 1990). Hal yang tidak mudah dijumpai pada data hidrologi di Indonesia.

Gambaran umum mengenai ketersediaan air permukaan di Indonesia pernah dihitung oleh Puslitbang Sumber Daya Air pada tahun 2010, berdasarkan data yang tercatat pada pos duga air (Hatmoko et al., 2012). Kelemahan studi tersebut adalah disebabkan oleh langka dan tidak meratanya penyebaran pos duga air, terutama di Indonesia bagian Timur, maka tidak semua wilayah sungai memuat pos duga air, dan walaupun sulit ditemui pos duga air dengan data yang baik, sehingga kerap kali menggunakan pos duga air dari wilayah sungai lainnya. Dengan kurang baiknya data pos duga air yang digunakan dalam perhitungan membuat bias hasil perhitungan semakin besar.

Untuk menyempurnakan perhitungan ketersediaan air sebelumnya maka pada penelitian ini dilakukan analisis ketersediaan air permukaan pada wilayah sungai di Indonesia dengan model hujan-limpasan Wflow, menggunakan data satelit yang mencakup seluruh wilayah Indonesia, sehingga semua wilayah sungai mempunyai datanya masing-masing.

Makalah ini menjelaskan perhitungan ketersediaan air permukaan pada wilayah sungai di Indonesia berdasarkan data hujan dari satelit TRMM, dan membandingkannya dengan perhitungan ketersediaan air permukaan lainnya terdahulu. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kinerja pengelolaan sumber daya air melalui penyediaan informasi ketersediaan air yang akurat untuk seluruh lokasi pada wilayah sungai di Indonesia.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk menghitung ketersediaan air permukaan adalah dengan menggunakan data runtut-waktu hujan bulanan dari satelit TRMM yang mencakup periode tahun 2003 sampai dengan 2015, serta data lainnya baik data statis ataupun data dinamis. Menggunakan model hujan-limpasan terdistribusi Wflow, data runtut-waktu hujan tersebut diubah menjadi data runtut-waktu limpasan untuk setiap grid sungai di Indonesia. Data limpasan tersebut dibuat menjadi data limpasan pada distrik air dan akhirnya dianalisis menjadi ketersediaan air pada wilayah sungai.

TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*)

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) merupakan kolaborasi antara dua lembaga antariksa Amerika Serikat melalui *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), dan Jepang dengan *National Space Development Agency of Japan* (NASDA), yang sekarang bernama *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA).

TRMM bertujuan mengukur hujan di kawasan tropis melalui sensor pada orbit satelit. Satelit TRMM diluncurkan tahun 1997, dan setelah melalui berbagai kalibrasi dan penyempurnaan sistem, mulai mengirim data bulan Agustus 2001 sampai sekarang.

Terdapat berbagai produk TRMM, yang kerap digunakan adalah TRMMB42T, yang memberikan informasi hujan 3 jam, harian dan bulanan. Koreksi data satelit TRMM agar sesuai dengan data *ground-station* di Indonesia telah dibahas oleh (Vernimmen, Hooijer, Mamenun, Aldrian, & Van Dijk, 2012). Validasi data TRMM terhadap data curah hujan di DAS Citarum, DAS Brantas, dan DAS Larona telah dikaji dengan hasil bahwa data bulanan berkorelasi erat (R^2 0,65 – 0,92) dan memiliki pola yang sama dengan data pengamatan konvensional. Selama periode "musim kering" bulan Juni-Oktober perbedaan rata-rata hujan TRMM dan pos pengamatan sekitar 18 mm atau sekitar 4 mm/bulan, namun untuk rata bulanan penyimpangan sekitar 25 mm/bulan.

Penggunaan TRMM pada berbagai negara telah dibahas (Liu, Ostrenga, Teng, & Kempler, 2012), (Zhao, Xie, Lu, & Hu, 2017), dan (Tamrakar & Alfredsen, 2012). Di Indonesia data satelit TRMM telah diterapkan pada DAS Ciliwung (Mahlida, 2013), sedangkan untuk analisis kekeringan telah dikaji oleh (Hatmoko, Radhika, Raharja, Tollenaar, & Vernimmen, 2015), serta (Levina, Hatmoko, Seizarwati, & Vernimmen, 2016) menunjukkan kesimpulan bahwa data hujan satelit TRMM dan WFlow memberikan hasil indikator kekeringan yang konsisten di Wilayah Sungai Pemali-Comal.

Validasi data TRMM terhadap data curah hujan di DAS Citarum, DAS Brantas, dan DAS Larona telah dibahas oleh Syaifullah (2014) dengan hasil bahwa data bulanan berkorelasi erat dan memiliki pola yang sama dengan data pengamatan konvensional. Untuk memudahkan manajemen data, maka TRMM diakses dan disimpan dalam sistem basis data Delft-FEWS, sehingga dapat dilakukan agregasi dari data hujan TRMM yang aslinya 3-jam menjadi data harian dan bulanan (Werner et al., 2013).

WFlow

WFlow adalah model hidrologi terdistribusi yang telah dibangun dengan menggunakan bahasa dinamis GIS yang disebut dengan PCRaster. Terdapat 2 versi dari model Wflow yaitu yang berdasarkan model HBV, dan berdasarkan model Topog SBM (Australia). Versi yang digunakan untuk penelitian ini yaitu berdasarkan model Topog SBM, hal ini dikarenakan pada versi ini memperhitungkan aliran lateral bawah permukaan (Arnal, 2014).

Model WFlow dikembangkan oleh Jaap Schellekens dari Deltares (Schellekens, 2012). Model tersebut berasal dari model CQFlow dengan bahasa program Python, yang telah digunakan pada berbagai negara terutama Amerika Tengah (Hassaballah, Mohamed, Uhlenbrook, & Biro, 2017). Model WFlow memproses siklus hidrologi. Siklus hidrologi yang dimodelkan adalah dengan menggabungkan beberapa sub model. Sub model tersebut antara lain: 1) Tangkapan Curah hujan (skematisasi oleh model GASH); 2) Sungai dan aliran permukaan dimodelkan dengan model gelombang kinematik; dan 3) Pengolahan tanah (skematisasi oleh model TOPOG_SBM).

Terdapat dua kelompok besar masukan yaitu data statis berupa tiga komponen yaitu DEM, Peta Jenis Tanah, dan peta tata guna lahan, dan data Dinamik yang terdiri dari data hujan masa lalu dan saat ini (TRMM), data hujan prediksi (BMKG, ECMWF (*The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*)), dan data evapotranspirasi CGIAR-CSI (*Consultative Group on International Agriculture Research - Consortium for Spatial Information*).

Model WFlow memaksimalkan penggunaan data spasial yang tersedia dengan menghubungkan nilai-nilai parameter untuk jenis tanah atau tata guna lahan serta menggunakan produk grid meteorologi. Sifat model yang terdistribusi menyiratkan bahwa model berjalan pada setiap sel grid dan air mengalir dari satu sel grid ke sel grid lainnya baik melalui rutin gelombang kinematik dan/atau melalui aliran air tanah lateral, lihat Konsep Kerja Model Hidrologi WFlow.

Kalibrasi dan verifikasi Model

Kalibrasi model dilakukan dengan membandingkan antara debit observasi di Pos Duga Air (PDA) dengan debit hasil pemodelan di lokasi yang sama.

Verifikasi model dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

- 1) Analisis limpasan, untuk melihat kewajaran hasil pemodelan. Analisis limpasan ini dilakukan dengan membandingkan antara debit rata tahunan dengan hujan rata tahunan;
- 2) Verifikasi kewajaran kaitan antara hujan dan limpasan, dengan menggunakan rumus (Weert, 1994) sebagai berikut:

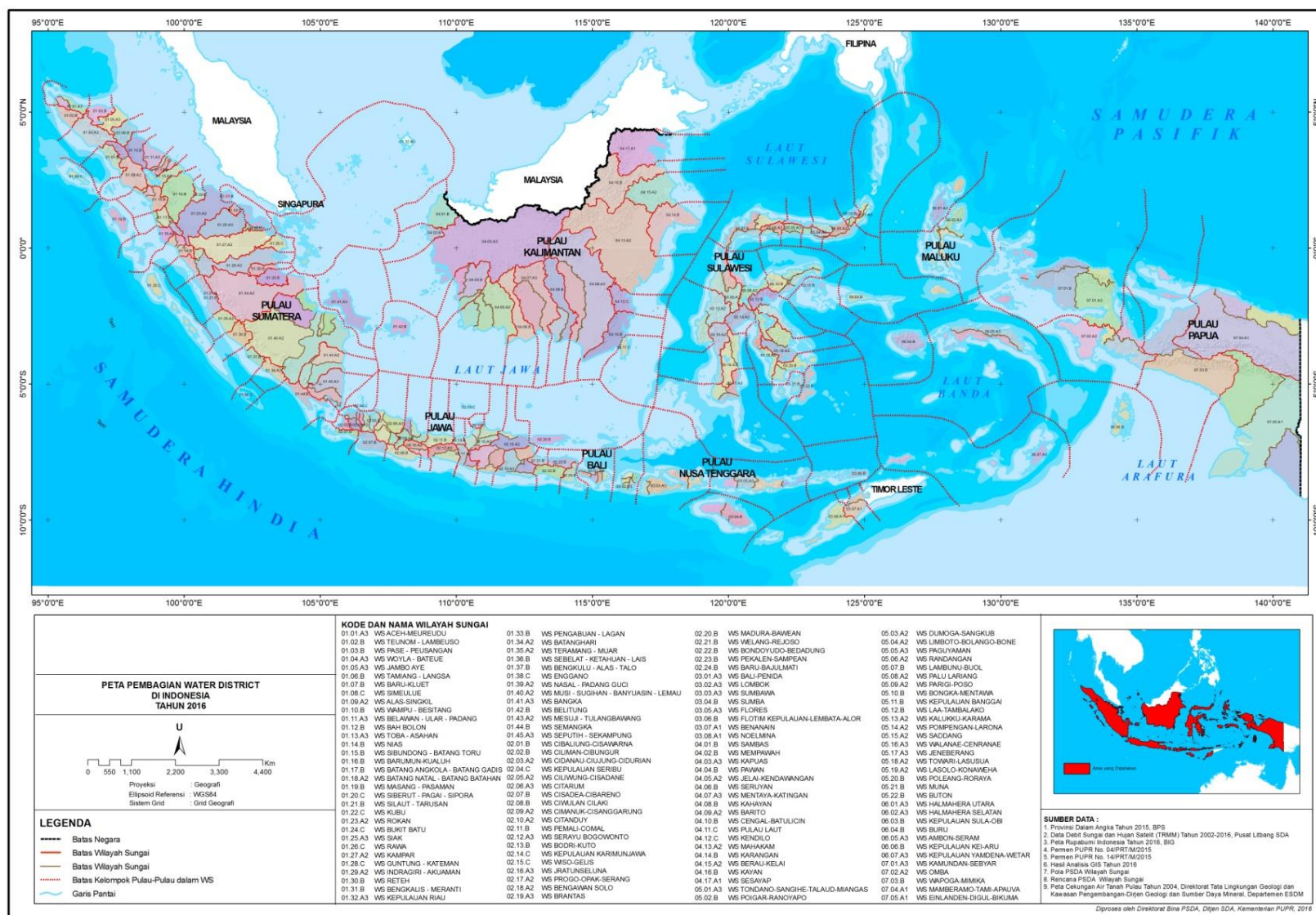
$$Q = 0,94 P - 1080$$
 untuk P lebih dari 1800 mm per tahun; dan

$$Q = 155 \left(\frac{P}{1000}\right)^{2,5}$$
 untuk P kurang dari 1800 mm per tahun
- 3) Menerapkan faktor koreksi dari perbandingan hujan tahunan BMKG dan TRMM skala WS dengan membandingkan antara hujan rata tahunan hasil TRMM pada Wilayah Sungai, terhadap hujan rata-rata tahunan dari BMKG.
- 4) Membandingkan limpasan dan debit hasil TRMM dan Wflow, dengan hasil perhitungan terdahulu, yaitu dari Puslitbang Sumber Daya Air tahun 2010, Pola Pengelolaan Sumber Daya Air pada berbagai Wilayah Sungai, dan hasil Aquastat FAO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembagian Distrik Air

Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 4 tahun 2015, Indonesia dibagi habis atas 128 Wilayah Sungai (WS). Dari 128 WS tersebut terdapat wilayah sungai yang relatif besar dan heterogen, misalnya Wilayah Sungai Citarum, yang dapat dibagi lebih lanjut atas Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum dan DAS Cipunegara. Sedangkan DAS Citarum juga masih sangat luas dan heterogen, sehingga dapat dibagi lebih lanjut menjadi *Water District* (WD) Citarum Hulu, DAS Citarum Tengah, dan DAS Citarum Hilir. Dalam studi ini, sebagaimana disajikan pada **Gambar 1**, 128 WS dibagi menjadi 268 WD dengan perincian untuk Pulau Jawa dari 24 WS menjadi 49 WD, Pulau Sumatera dari 45 WS menjadi 72 WD, Pulau Kalimantan dari 17 WS menjadi 24 WD, Pulau Sulawesi dari 22 WS menjadi 56 WD, Pulau Bali dan Nusa Tenggara dari 8 WS menjadi 29 WD, Pulau Maluku dari 7 WS menjadi 18 WD, dan Pulau Papua dari 5 WS menjadi 20 WD.



Gambar 1 Peta Distrik Air Indonesia

Kalibrasi dan Verifikasi Model WFlow Hasil Kalibrasi Model

Kalibrasi model dilakukan dengan membandingkan antara debit observasi di Pos Duga Air (PDA) dengan debit hasil pemodelan di lokasi yang sama. Kalibrasi dilakukan dengan melihat kedekatan antara grafik model dengan grafik data observasi serta melihat seberapa bagus model mengikuti pola dari data observasi.

Kalibrasi ini menggunakan 29 PDA yang cukup tersebar di Indonesia. PDA tersebut berada di pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Bali Nusa Tenggara (**Gambar 2**). Untuk pulau Maluku dan Papua tidak ada PDA yang digunakan dikarenakan tidak ditemukannya data PDA yang layak digunakan untuk kalibrasi di pulau-pulau tersebut. Pemilihan lokasi PDA yang digunakan mempertimbangkan beberapa hal antara lain adalah : 1) Data debit pos duga air memiliki kualitas yang bagus; 2) Data debit tersedia antara tahun 2003 – 2015; dan 3) Lokasi PDA dipilih mewakili keragaman dari jenis tanah dan penggunaan lahan.

Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut, maka dengan menggunakan 29 PDA dianggap sudah cukup mewakili kombinasi jenis tanah dan

penggunaan lahan di Indonesia sehingga hasil model dapat diterima. Peta lokasi PDA yang digunakan untuk kalibrasi model disajikan pada **Gambar 2**.

Hasil kalibrasi beberapa pos duga air disajikan pada **Gambar 3**. Hasil kalibrasi tidak merata untuk tiap PDA pada satu pulau, hal ini bisa terjadi karena kondisi data observasi yang digunakan untuk kalibrasi yang kurang bagus untuk semua tahun. Grafik perbandingan bulanan pada **Gambar 3** memperlihatkan bagaimana kedekatan antara hasil model dengan data observasi. Hasil model terlihat sudah cukup mendekati data observasi, terutama untuk bulan-bulan kering. Selain itu pola dari data observasi juga terlihat dapat diikuti oleh model dengan cukup baik.

Pada umumnya hasil kalibrasi menunjukkan kedekatan antara hasil model dan data observasi, terutama pada debit kering atau ketersediaan andalan 80%. Pada bulan kering korelasi yang dihasilkan cukup bagus yaitu lebih dari 80%, dan untuk pos duga air dengan data debit yang dikenal sangat baik, yaitu di Citarum-Nanjung, koefisien korelasi menunjukkan hasil yang sangat baik, lebih dari 90%.

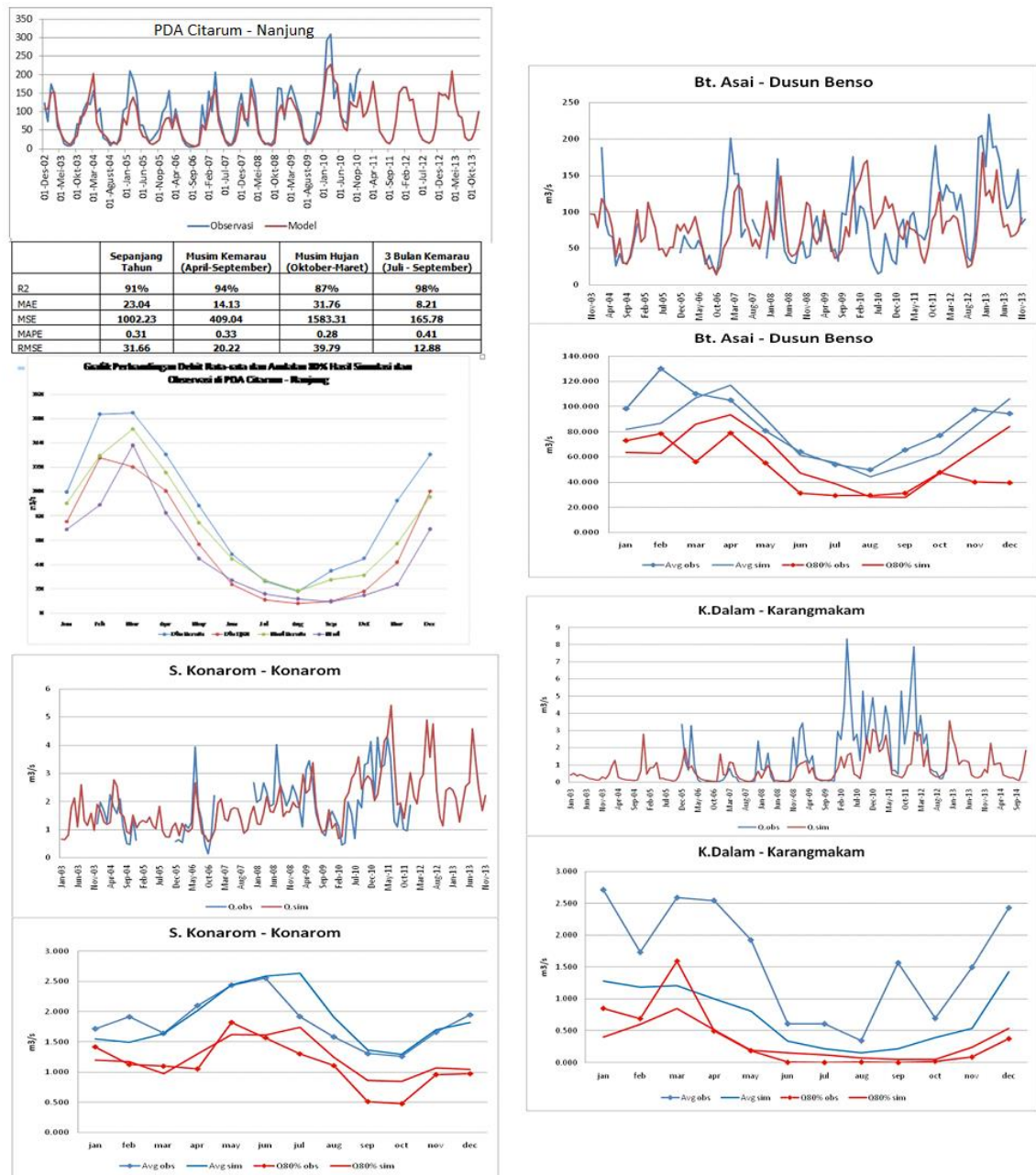


Gambar 2 Peta lokasi Pos Duga Air untuk Kalibrasi

Hasil Verifikasi Analisis Limpasan

Analisis limpasan dilakukan untuk melihat kewajaran hasil hitungan pemodelan. Analisis dilakukan dengan membandingkan antara debit rata tahunan dengan hujan rata tahunan yang ditampilkan pada **Gambar 4**. Perbandingan limpasan permukaan dan hujan tahunan berkisar antara 0.2 dan 0.8, yang berarti bahwa 20% - 80% hujan menjadi limpasan. Variasi dari limpasan permukaan ini mengakomodasikan jenis tanah dan penggunaan lahan masing-masing wilayah sungai

yang berbeda-beda. Selain itu perbedaan limpasan permukaan juga disebabkan besarnya evaporasi dan parameter lain dalam siklus hidrologi yang juga bervariasi pada masing-masing wilayah sungai. Dengan mempertimbangkan koefisien aliran permukaan (c) yang biasa digunakan dalam metode rasional dengan nilai berkisar antara 0 dan 1 (Suripin, 2004), dapat disimpulkan bahwa hasil hitungan model untuk debit rata tahunan dengan perbandingan hujan dan limpasan antara 0,2 dan 0,8 ini termasuk wajar dan dapat diterima.



Gambar 3 Hasil kalibrasi beberapa Pos Duga Air

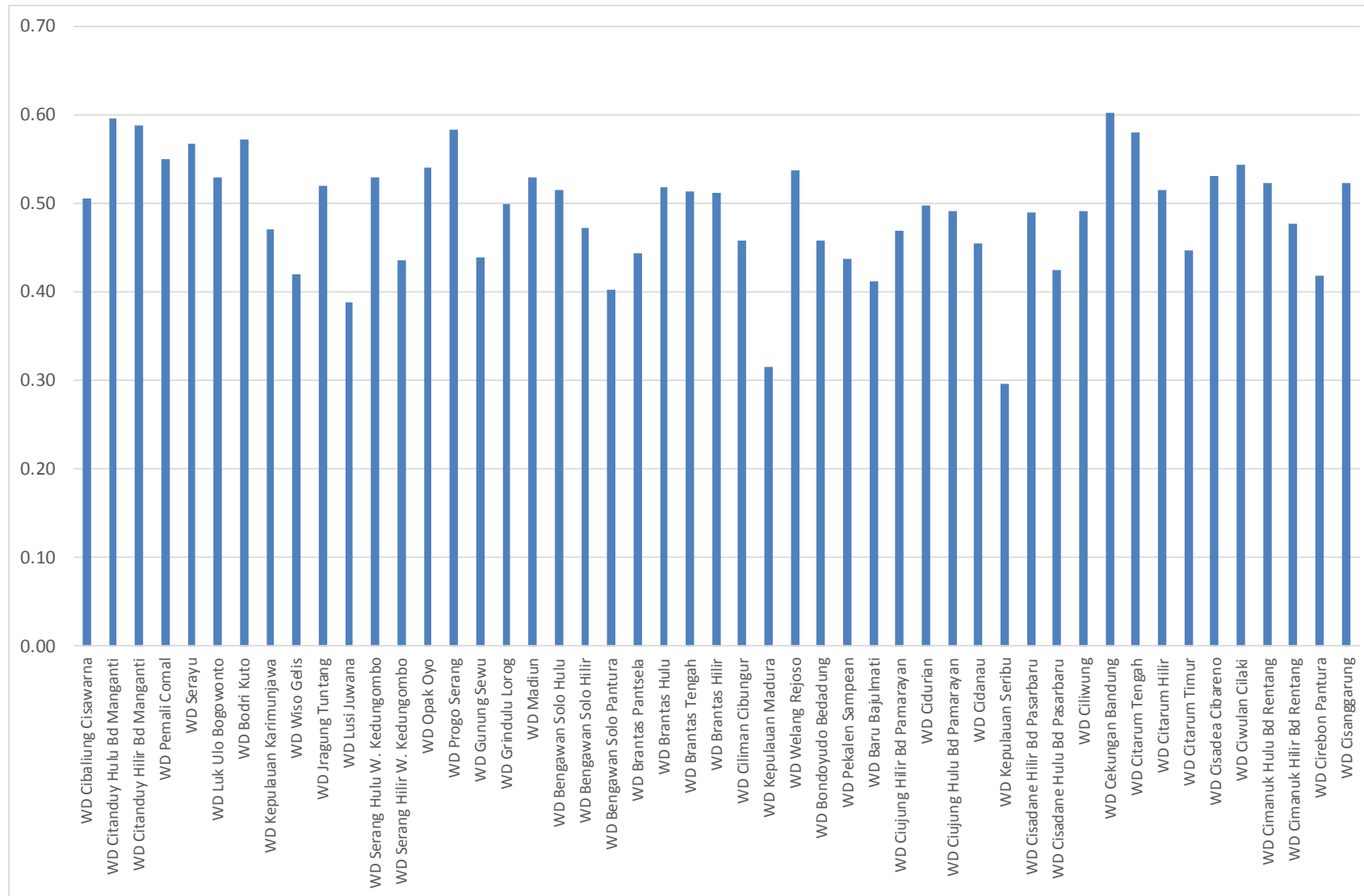
Hasil Verifikasi Perbandingan Hujan BMKG

Dengan asumsi bahwa hujan tahunan dari BMKG merupakan data yang paling benar, maka faktor koreksi dihitung dengan membandingkan antara hujan rata tahunan hasil TRMM pada Wilayah Sungai, terhadap hujan rata-rata tahunan dari BMKG (Gambar 5).

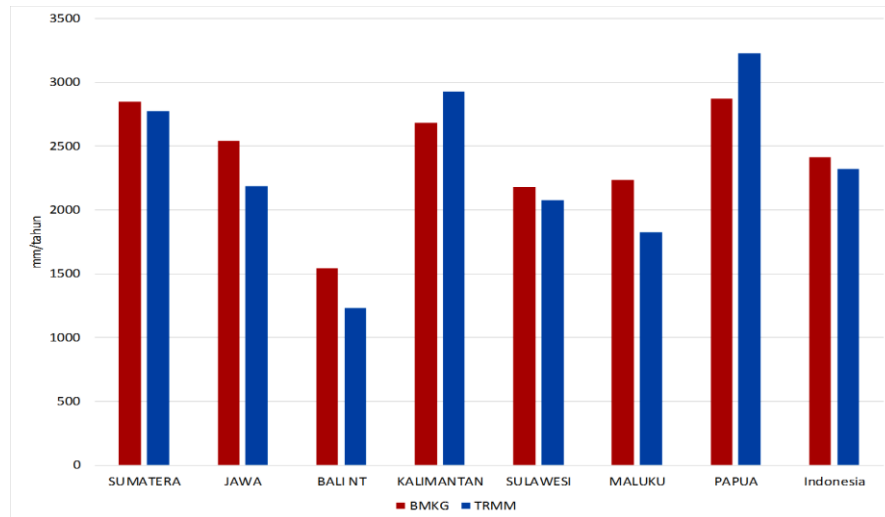
Dengan adanya perbedaan antara hujan tahunan TRMM dan BMKG, maka diterapkan faktor koreksi yang merupakan perbandingan curah hujan tersebut (Gambar 6).

Hasil Verifikasi Kaitan antara Hujan dan Limpasan

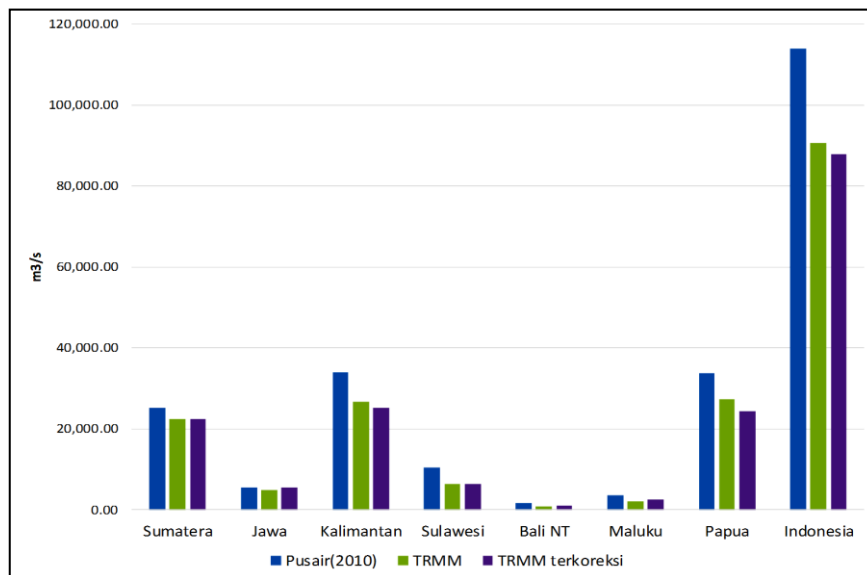
Hasil verifikasi kaitan antara hujan dan limpasan berdasarkan rumus umum hujan-limpasan tahunan di Indonesia (Weert, 1994) menunjukkan hasil yang sangat baik untuk semua Wilayah Sungai dan *Water District* (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa seluruh *Water District* memenuhi persamaan ini, yang berarti bahwa proses hujan-aliran telah berlangsung dengan baik. Jika terjadi kesalahan pada hasil perhitungan, maka kesalahan tersebut bukan dari proses perhitungan hujan-limpasan WFlow, melainkan terletak pada jumlah dan distribusi curah hujan.



Gambar 4 Rasio antara limpasan dengan hujan tahunan pada WD di Jawa



Gambar 5 Hujan Tahunan TRMM dan BMKG



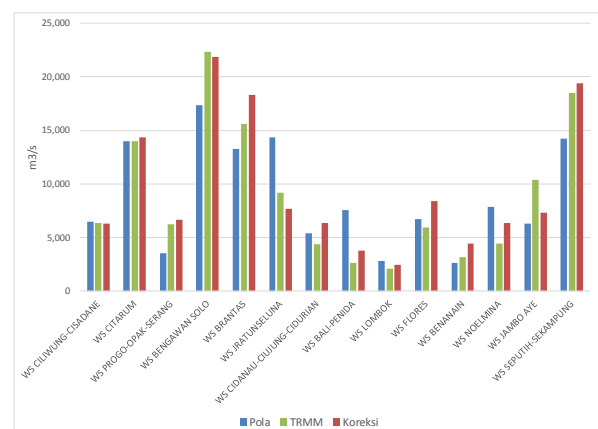
Gambar 6 Verifikasi Hujan Tahunan TRMM terhadap BMKG

Hasil Perbandingan dengan studi terdahulu

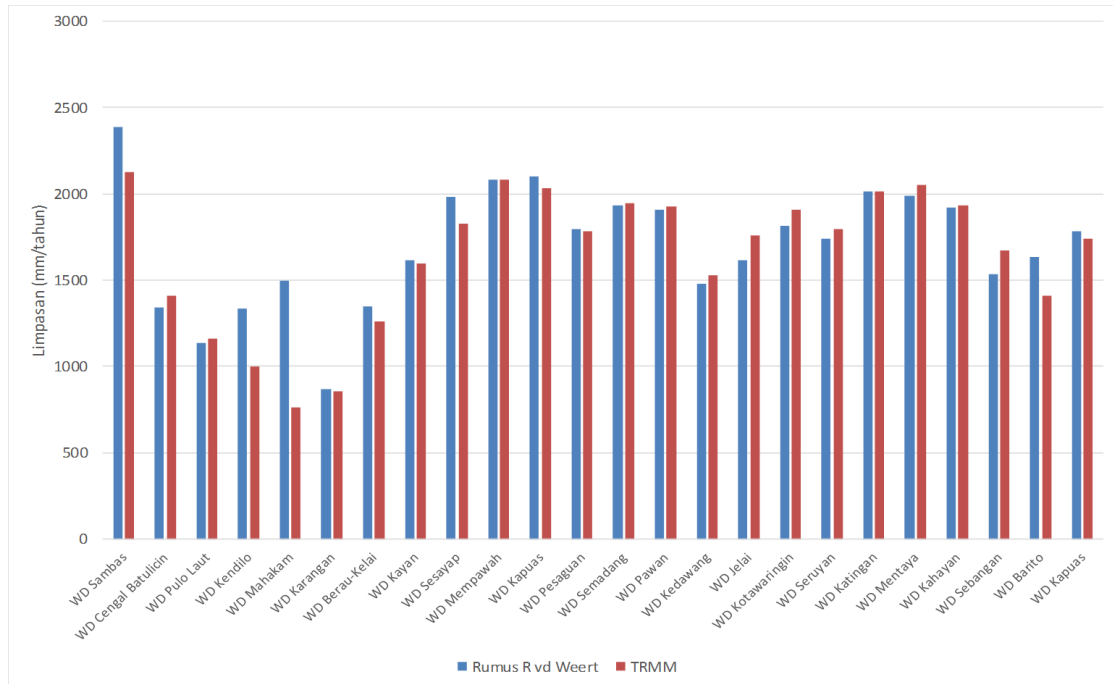
Hujan TRMM terkoreksi BMKG pada umumnya lebih rendah dari TRMM asli, namun debit aliran sungai memberikan hasil yang lebih mendekati hasil kajian Pola Pengelolaan Sumber Daya Air pada berbagai Wilayah Sungai (Gambar 8).

Ketersediaan Air Indonesia

Hasil perhitungan ketersediaan air permukaan di Indonesia dengan data satelit ini berupa data runtut-waktu bulanan meliputi tahun 2003 sampai dengan 2015 untuk seluruh Water District dan Wilayah Sungai di Indonesia. Ringkasan dari hasil tiap WD dipetakan pada **Gambar 9**, dan daftar ketersediaan air setiap wilayah sungai disajikan pada Lampiran.



Gambar 8 Debit di Wilayah Sungai versi Pola dan TRMM



Gambar 7 Hasil verifikasi kaitan hujan-limpasan dengan rumus Weert pada WD di Kalimantan

Secara total ketersediaan air rata-rata di Indonesia sebesar 88,3 ribu m³/s atau setara dengan 2,78 triliun m³/tahun. Ketersediaan air andalan 80% sebesar 66,1 ribu m³/s atau setara dengan 2,08 triliun m³/tahun.

Angka ketersediaan air dari studi ini berada jauh di bawah studi Hatmoko et al. (2010) yang menyatakan ketersediaan air permukaan nasional adalah 3.900 milyar m³/tahun, dan sementara ini telah menjadi angka resmi ketersediaan air nasional. Studi yang didasarkan atas hanya debit aliran sungai pada pos duga air, tanpa mempertimbangkan data hujan dan iklim tersebut didorong oleh pandangan berbagai pihak yang meragukan angka debit sungai jika diperoleh dari curah hujan. Masih rendahnya kualitas data debit aliran sungai membuat studi tersebut menghasilkan angka yang terlalu tinggi, terutama disebabkan oleh kurangnya data pengukuran debit pada kepulauan besar seperti Papua dan Kalimantan, sehingga kesalahan kecil dalam limpasan milimeter per-hari dikalikan dengan luas kepulauan yang besar telah menghasilkan kesalahan yang cukup besar. Khusus untuk Pulau Jawa dengan jaringan pos duga air yang baik, memberikan hasil kesesuaian dengan prediksi hujan Weert yang sangat baik, yaitu deviasi hanya 6%.

Di antara negara-negara di dunia, Indonesia termasuk negara yang sangat kaya akan air. Laporan kajian Aquastat dari FAO (2003) menyatakan bahwa posisi Indonesia adalah nomor empat setelah Brazil, Rusia, dan Amerika Serikat,

dengan masing-masing jumlah air yang tersedia per tahun adalah 8.233 km³, 4.507 km³, dan 2.902 km³. Indonesia dilaporkan memiliki jumlah air per tahun 2.838 km³, yang terdiri atas air permukaan 2.793 km³ dan air tanah 455 km³, dengan tumpang-tindih antara air tanah dan air permukaan adalah 410 km³, sehingga jumlah air total per tahun adalah 2.838 km³.

Angka ketersediaan air permukaan Indonesia sebesar 2.793 km³ per tahun dari FAO (2003) ini sangat mendekati ketersediaan air permukaan Indonesia dari studi ini yang berjumlah 2.783 km³ per-tahun. Dari perbandingan dengan informasi internasional, verifikasi terhadap prediksi debit dari hujan, Hatmoko et al. (2010), dan Pola, maka dapat disimpulkan bahwa hasil TRMM yang dikoreksi dengan hujan BMKG telah memberikan nilai ketersediaan air yang memadai, dan dapat digunakan sebagai nilai ketersediaan air secara nasional. Potensi terbesar yaitu Pulau Papua sebesar 29% sedangkan potensi terkecil yaitu Pulau Bali dan Nusa Tenggara sebesar 1% seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Hasil perhitungan debit andalan 80% per Water Distrik (WD) maka potensi terbesar pertama Indonesia di WD Kapuas sebesar 171,3 milyar m³/tahun, terbesar kedua di WD Mamberamo sebesar 138,9 milyar m³/tahun, terbesar ketiga di WD Digul sebesar 82,6 milyar m³/tahun, terbesar keempat di WD Einlanden sebesar 80,4 milyar m³/tahun, terbesar kelima di WD Barito sebesar 70,4 milyar m³/tahun, keenam terbesar di WD Mimika sebesar 70,1 milyar m³/tahun, terbesar

ketujuh di WD Batanghari sebesar 55,4 milyar m^3/tahun , terbesar kedelapan di WD Mahakam sebesar 49,6 milyar m^3/tahun , terbesar kesembilan di WD Musi – Sugihan – Banyuasin – Lemau A sebesar 49,1 milyar m^3/tahun , dan terbesar kesepuluh di WD Wapoga sebesar 47,3 milyar m^3/tahun .

Dilihat dari tinggi aliran, terlihat bahwa WD yang basah dengan tinggi aliran yang tinggi yaitu di atas 3 mm/hari adalah di Pulau Papua, Kalimantan, dan sebagian Sumatera. Pulau Bali dan Nusa Tenggara dan Pulau Maluku terlihat cenderung lebih kering dengan tinggi aliran di bawah 2 mm/hari, bahkan jika dibandingkan dengan Pulau Sulawesi dan Pulau Jawa. Khusus untuk pulau Jawa dapat dilihat bahwa makin ke timur menunjukkan kondisi yang makin kering. Peta tinggi aliran andalan 80% Indonesia disajikan pada **Gambar 9**.

Manfaat Hasil Tinggi Aliran pada Wilayah Sungai

Manfaat utama dari hasil perhitungan berbasis satelit ini adalah bahwa di lokasi manapun di Indonesia, dapat diperoleh potensi air permukaan dengan mengalikan luas daerah tangkapan air dan tinggi limpasannya, yang nilai reratanya ada pada Lampiran. Karena data satelit TRMM tersedia dari tahun 2003 sampai dengan saat ini, dan telah dianalisis sampai dengan tahun 2015, maka di sembarang lokasi di Indonesia dapat disusun data debit bulanan runtut waktu dari tahun 2003 sampai dengan 2015, yang dapat dimanfaatkan untuk perencanaan irigasi, air baku, energi, dan lainnya.

KESIMPULAN

Secara total ketersediaan air rata-rata di Indonesia sebesar 88,3 ribu m^3/s atau setara dengan 2,78 triliun m^3/tahun . Ketersediaan air andalan 80% sebesar 66,1 ribu m^3/s atau setara dengan 2,08 triliun m^3/tahun . Potensi terbesar yaitu Pulau Papua sebesar 29% sedangkan potensi terkecil yaitu Pulau Bali dan Nusa Tenggara sebesar 1%.

Tinggi aliran Water Distrik menunjukkan bahwa WD yang basah dengan tinggi aliran yang tinggi adalah di Pulau Papua, Kalimantan, dan sebagian Sumatera. Pulau Bali dan Nusa Tenggara dan Pulau Maluku terlihat cenderung lebih kering, bahkan jika dibandingkan dengan Pulau Sulawesi dan Pulau Jawa. Khusus untuk pulau Jawa dapat dilihat bahwa semakin ke arah timur menunjukkan kondisi yang semakin kering.

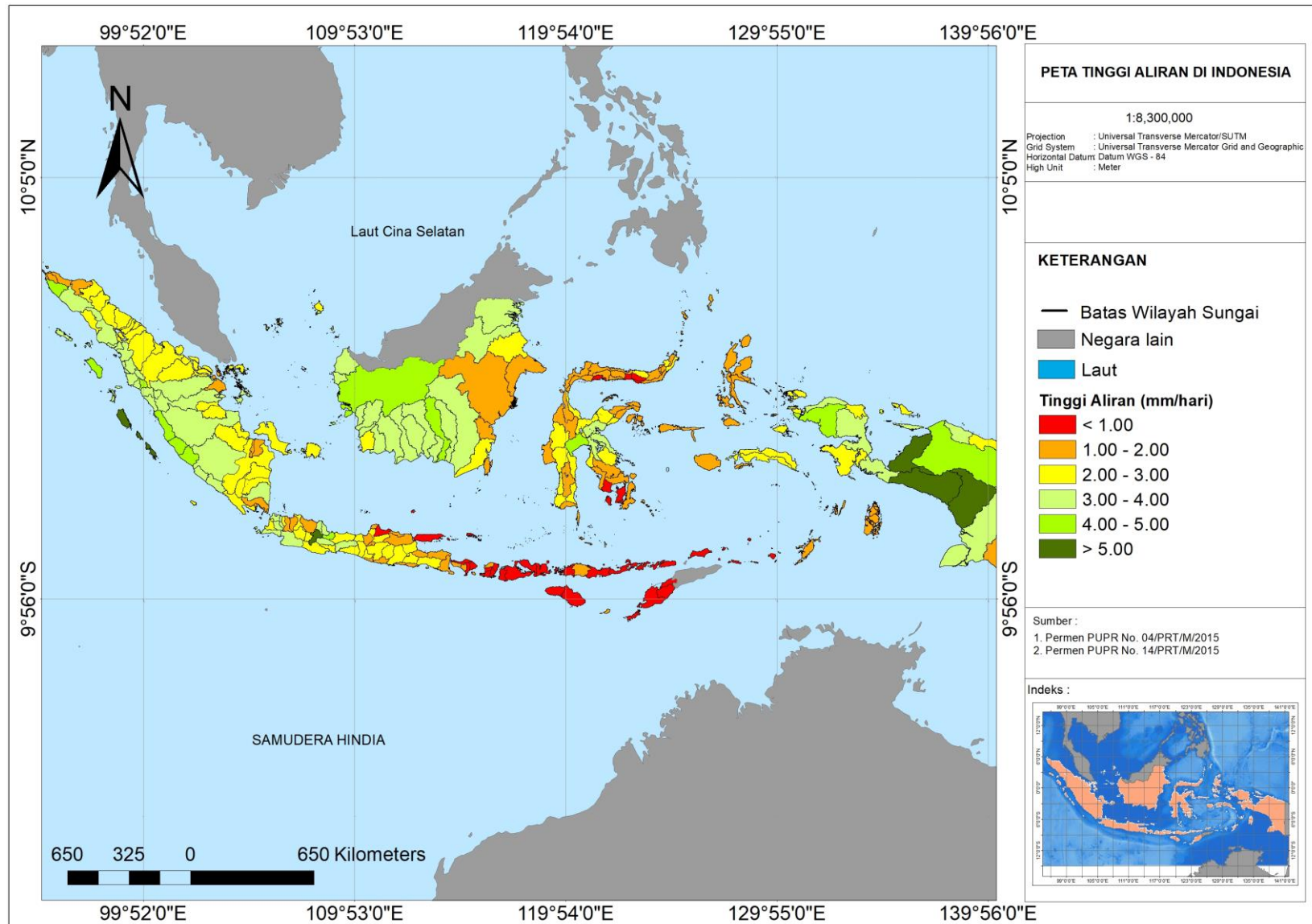
Hasil penelitian ini dapat melengkapi data ketersediaan air pada wilayah sungai dengan pos hidrologi yang minim. Pada wilayah sungai dengan pos hidrologi yang baik dan cukup rapat, dapat digunakan untuk menguji tingkat akurasi metode ketersediaan air dengan data satelit TRMM ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih pada Direktur Bina Pengelolaan Sumber Daya Air, Bapak Agus Suprpto Kusmulyono; serta Bapak Charizal Akdian Manu; dan Bapak Indra Kurniawan, dari Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, yang telah memberikan kepercayaan kepada Puslitbang Sumber Daya Air untuk memperbaharui analisis ketersediaan air. Selanjutnya terima kasih pada Bapak Irfan Sudono, Kepala Balai Litbang Hidrologi dan Tata Air, atas masukannya yang sangat penting dalam pembahasan internal di Puslitbang Sumber Daya Air.

Tabel 1 Ketersediaan Permukaan Air di Indonesia

No	Wilayah	Luas (Km^2)	Ketersediaan Air Rata-rata (m^3/s)	Ketersediaan Air Rata-rata (Juta m^3/tahun)	Ketersediaan Air Andalan 80% (m^3/s)	Ketersediaan Air Andalan 80% (Juta m^3/tahun)
1	Jawa	132,698.13	5,566.92	175,558.45	3,770.33	118,901.28
2	Sumatera	472,849.20	23,026.02	726,148.65	16,505.04	520,502.95
3	Kalimantan	534,912.09	25,126.09	792,376.30	20,102.16	633,941.59
4	Sulawesi	185,150.03	6,470.19	204,043.92	4,378.23	138,071.87
5	Bali Dan Nusa Tenggara	71,718.55	1,141.09	35,985.47	656.13	20,691.67
6	Maluku	78,378.79	2,575.22	81,212.08	1,585.66	50,005.48
7	Papua	412,738.35	24,350.06	767,903.51	19,127.50	603,204.88
Indonesia		1,888,445.12	88,255.59	2,783,228.38	66,125.05	2,085,319.73



Gambar 9 Peta Tinggi Aliran Andalan Q80% pada Distrik Air di Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- Arnal, L. (2014). An intercomparison of flood forecasting models for the Meuse River basin. Vrije Universiteit Amsterdam.
- Dahmen, E. R., & Hall, M. J. (1990). Screening of Hydrological Data: Test for Stationarity and Relative Consistency. Wageningen: ILRI.
- FAO. (2003). *Review of world water resources by country. Water reports 23*. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations.
- Fulazzaky, M. (2014). Challenges of Integrated Water Resources Management in Indonesia. *Water*, 6(7), 2000–2020. <https://doi.org/10.3390/w6072000>
- Hassaballah, K., Mohamed, Y., Uhlenbrook, S., & Biro, K. (2017). Analysis of streamflow response to land use land cover changes using satellite data and hydrological modelling: case study of Dinder and Rahad tributaries of the Blue Nile (Ethiopia/Sudan). *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (March), 1–22. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-128>
- Hatmoko, W., Radhika, Amirwandi, Herwindo, W., & Fauzi, M. (2010). *Ketersediaan Air Permukaan pada Wilayah Sungai di Indonesia*. (W. M. Putuhena & S. M. Yuningsih, Eds.). Bandung: Puslitbang Sumber Daya Air, Badan Litbang Pekerjaan Umum.
- Hatmoko, W., Radhika, Amirwandi, S., Fauzi, M., Firmansyah, R., Solihah, R., & Fathoni, A. (2012). *Neraca Ketersediaan dan Kebutuhan Air pada Wilayah Sungai di Indonesia*. (W. M. Putuhena, S. M. Yuningsih, & I. Sudono, Eds.). Bandung: Puslitbang Sumber Daya Air, Badan Litbang Pekerjaan Umum.
- Hatmoko, W., Radhika, Raharja, B., Tollenaar, D., & Vernimmen, R. (2015). Monitoring and Prediction of Hydrological Drought Using a Drought Early Warning System in Pemali-Comal River Basin, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.009>
- Levina, Hatmoko, W., Seizarwati, W., & Vernimmen, R. (2016). Comparison of TRMM Satellite Rainfall and APHRODITE for Drought Analysis in the Pemali-comal River Basin. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.069>
- Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., & Kempler, S. (2012). Tropical rainfall measuring mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(9), 1317–1325. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00152.1>
- Mahlida, I. F. (2013). Pemanfaatan Data Curah Hujan Trmm Untuk Estimasi Debit Di Ciliwung (Katulampa Dan Depok). Institut Pertanian Bogor.
- Schellekens, J. (2012). wflow Documentation. OpenStreams. Retrieved from <https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/76613454/wflow.pdf>
- Suripin. 2004. Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Syaifulullah, D. (2014). Validasi Data TRMM Terhadap Data Curah Hujan Aktual di Tiga DAS di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, VOL. 15 no, 109–118.
- Tamrakar, B., & Alfredsen, K. (2012). Applicability of TRMM satellite data in hydropower planning . *Rentech Symposium Compendium*, 2, 60–62.
- Vernimmen, R. R. E., Hooijer, A., Mamenun, Aldrian, E., & Van Dijk, a. I. J. M. (2012). Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 133–146. <https://doi.org/10.5194/hess-16-133-2012>
- Weert, R. Van Der. (1994). Hydrological Conditions in Indonesia. Jakarta: Delft Hydraulics.
- Werner, M., Schellekens, J., Gijsbers, P., van Dijk, M., van den Akker, O., & Heynert, K. (2013). The Delft-FEWS flow forecasting system. *Environmental Modelling and Software*, 40, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.010>
- Zhao, Y., Xie, Q., Lu, Y., & Hu, B. (2017). Hydrologic Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis for Nanliu River Basin in Humid Southwestern China. *Scientific Reports*, 7(1), 2470. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02704-1>

LAMPIRAN: HASIL KETERSEDIAAN AIR PERMUKAAN PADA WILAYAH SUNGAI DI INDONESIA

No.	Wilayah Sungai	Luas km ²	Ketersediaan Air		
			mm/hari	m ³ /s	juta m ³ /tahun
1	WS ACEH-MEUREUDU	5,559	2.16	139.11	4,387
2	WS TEUNOM-LAMBEUSO	5,257	5.64	343.10	10,820
3	WS PASE-PEUSANGAN	5,553	2.49	159.71	5,037
4	WS WOYLA-BATEUE	12,419	4.73	680.20	21,451
5	WS JAMBO AYE	6,777	2.95	231.53	7,301
6	WS TAMIANG-LANGSA	6,283	3.79	275.80	8,698
7	WS BARU-KLUET	5,310	4.00	246.02	7,758
8	WS ALAS-SINGKIL	13,384	4.15	642.14	20,250
9	WS WAMPU-BESITANG	7,584	3.82	335.46	10,579
10	WS BELAWAN-ULAR-PADANG	6,047	3.68	257.84	8,131
11	WS BAH BOLON	4,293	3.80	188.74	5,952
12	WS TOBA-ASAHAH	6,136	3.39	240.57	7,587
13	WS SIBUNDONG-BATANG TORU	7,198	4.74	395.24	12,464
14	WS BARUMUN-KUALUH	17,743	3.76	772.93	24,375
15	WS BT.ANGKOLA-BT.GADIS	5,890	4.62	315.16	9,939
16	WS BT.NATAL-BT.BATAHAN	4,125	5.17	246.61	7,777
17	WS MASANG-PASAMAN	5,690	5.49	361.57	11,403
18	WS SILAUT-TARUSAN	7,012	6.41	520.06	16,401
19	WS KUBU	2,360	3.84	104.93	3,309
20	WS ROKAN	22,492	3.71	964.91	30,429
21	WS BUKIT BATU	1,356	3.78	59.41	1,874
22	WS SIAK	14,860	3.69	634.29	20,003
23	WS RAWA	1,184	4.28	58.70	1,851
24	WS KAMPAR	26,378	4.43	1,351.23	42,612
25	WS GUNTUNG-KATEMAN	4,356	3.99	201.19	6,345
26	WS INDRAGIRI-AKUAMAN	25,063	4.35	1,262.79	39,823
27	WS RETEH	3,807	3.84	169.04	5,331
28	WS PENGABUAN-LAGAN	6,787	3.85	302.12	9,528
29	WS BATANGHARI	46,486	4.24	2,280.38	71,914
30	WS TERAMANG-MUAR	5,318	5.47	336.58	10,614
31	WS SEBELAT-KETAHUN-LAIS	5,997	6.33	439.49	13,860
32	WS KEPULAUAN RIAU	8,316	4.20	404.46	12,755
33	WS NASAL-PADANG GUCI	4,799	4.86	269.92	8,512
34	WS MUSI-SUGIHAN-BANYUASIN	86,167	4.20	4,187.00	132,041
35	WS MESUJI-TULANG BAWANG	17,411	3.66	737.39	23,254
36	WS SEMANGKA	6,317	3.26	238.65	7,526
37	WS BENGKULU-ALAS-TALO	3,125	4.88	176.49	5,566

No.	Wilayah Sungai	Luas km ²	Ketersediaan Air		
			mm/hari	m ³ /s	juta m ³ /tahun
38	WS SIMEULUE	1,832	4.56	96.68	3,049
39	WS NIAS	4,117	5.57	265.28	8,366
40	WS SIBERUT-PAGAI-SIPORA	5,982	6.53	451.84	14,249
41	WS BENGKALIS-MERANTI	6,060	3.63	254.38	8,022
42	WS BANGKA	11,849	4.05	555.75	17,526
43	WS ENGGANO	398	3.75	17.25	544
44	WS BELITUNG	4,877	4.25	240.15	7,573
45	WS SEPUTIH-SEKAMPUNG	14,726	3.60	613.93	19,361
46	WS CIBALIUNG-CISAWARNA	2,594	4.86	145.99	4,604
47	WS CILIMAN-CIBUNGUR	1,738	3.78	75.98	2,396
48	WS CIDANAU-CIUJUNG-CIDURIAN	4,148	4.22	202.40	6,383
49	WS KEPULAUAN SERIBU	9	1.97	0.20	6
50	WS CILIWUNG-CISADANE	5,268	3.31	201.54	6,356
51	WS CITARUM	11,322	3.47	454.34	14,328
52	WS CISADEA-CIBARENO	6,806	5.10	402.05	12,679
53	WS CIWULAN-CILAKI	5,372	4.12	256.01	8,074
54	WS CIMANUK-CISANGGARUNG	7,704	6.09	542.58	17,111
55	WS CITANDUY	4,507	4.80	250.65	7,904
56	WS PEMALI-COMAL	4,831	4.12	230.39	7,266
57	WS SERAYU-BOGOWONTO	7,371	4.89	417.19	13,157
58	WS BODRI-KUTO	1,647	3.51	66.99	2,113
59	WS KEPULAUAN KARIMUNJAWA	42	2.68	1.31	41
60	WS WISO-GELIS	665	2.38	18.36	579
61	WS JRATUNSELUNA	9,074	2.32	244.05	7,696
62	WS PROGO-OPAK-SERANG	4,878	3.74	211.01	6,654
63	WS BENGAWAN SOLO	19,697	3.04	692.93	21,852
64	WS BRANTAS	14,251	3.51	579.37	18,271
65	WS MADURA-BAWEAN	5,615	1.40	91.17	2,875
66	WS WELANG-REJOSO	2,190	2.87	72.78	2,295
67	WS BONDOYUDO-BEDADUNG	5,343	3.25	200.77	6,331
68	WS PEKALEN-SAMPEAN	3,933	2.34	106.65	3,363
69	WS BARU-BAJULMATI	3,692	2.39	102.23	3,224
70	WS BALI-PENIDA	5,587	1.85	119.61	3,772
71	WS LOMBOK	4,568	1.48	78.10	2,463
72	WS SUMBAWA	15,123	1.18	207.30	6,537
73	WS SUMBA	10,931	1.30	164.56	5,190
74	WS FLORES	14,794	1.56	266.48	8,404
75	WS FLOTIM KEPULAUAN-LEMBATA-ALOR	4,919	1.13	64.15	2,023
76	WS BENANAIN	6,442	1.36	101.17	3,191

No.	Wilayah Sungai	Luas km ²	Ketersediaan Air		
			mm/hari	m ³ /s	juta m ³ /tahun
77	WS NOELMINA	9,356	1.29	139.73	4,406
78	WS SAMBAS	10,988	4.32	549.44	17,327
79	WS MEMPAWAH	3,233	4.64	173.53	5,473
80	WS KAPUAS	102,957	5.46	6,506.54	205,190
81	WS PAWAN	18,012	5.06	1,054.09	33,242
82	WS JELAI-KENDAWANGAN	32,789	4.45	1,688.84	53,259
83	WS SERUYAN	14,870	4.29	738.63	23,293
84	WS MENTAYA-KATINGAN	34,717	4.68	1,880.57	59,306
85	WS KAHAYAN	22,904	5.19	1,375.04	43,363
86	WS BARITO	80,224	3.89	3,613.92	113,969
87	WS CENGAL-BATULICIN	14,459	3.65	610.78	19,262
88	WS PULAU LAUT	2,360	3.29	89.97	2,837
89	WS KENDILO	8,003	2.33	215.94	6,810
90	WS MAHAKAM	85,237	1.97	1,941.58	61,230
91	WS KARANGAN	19,749	2.23	509.52	16,068
92	WS BERAU-KELAI	21,020	2.70	656.40	20,700
93	WS KAYAN	31,916	4.83	1,785.16	56,297
94	WS SESAYAP	31,474	4.77	1,736.14	54,751
95	WS TONDANO-SANGIHE-TALAUD-MIANGAS	4,709	3.17	172.78	5,449
96	WS POIGAR-RANOYAPO	2,267	3.11	81.52	2,571
97	WS DUMOGA-SANGKUB	7,450	2.76	238.17	7,511
98	WS LIMBOTO-BOLANGO-BONE	4,906	1.66	94.07	2,967
99	WS PAGUYAMAN	3,495	2.09	84.52	2,665
100	WS RANDANGAN	3,961	1.50	68.92	2,174
101	WS LAMBUNU-BUOL	12,499	1.85	267.86	8,447
102	WS PALU-LARIANG	14,530	2.28	383.86	12,105
103	WS PARIGI-POSO	8,364	3.42	330.79	10,432
104	WS BONGKA-MENTAWA	13,841	2.84	454.95	14,347
105	WS KEP. BANGGAI	3,071	1.75	62.32	1,965
106	WS LAA-TAMBALAKO	14,070	4.15	675.99	21,318
107	WS KALUKKU-KARAMA	15,606	3.48	628.03	19,806
108	WS POMPENGAN-LARONA	12,251	5.54	785.12	24,760
109	WS SADDANG	9,910	3.79	434.95	13,717
110	WS WALANAE-CENRANAE	11,786	2.99	407.37	12,847
111	WS JENEBERANG	9,539	3.46	382.16	12,052
112	WS TOWARI-LASUSUA	5,763	3.00	199.82	6,301
113	WS LASOLO-KONAWAHA	13,587	2.64	415.07	13,090
114	WS POLEANG-RORAYA	7,603	2.05	180.52	5,693
115	WS MUNA	3,875	1.66	74.57	2,352

No.	Wilayah Sungai	Luas km ²	Ketersediaan Air		
			mm/hari	m ³ /s	juta m ³ /tahun
116	WS BUTON	9,013	1.76	183.72	5,794
117	WS HALMAHERA UTARA	8,206	2.48	235.46	7,426
118	WS HALMAHERA SELATAN	15,676	2.73	496.04	15,643
119	WS KEPULAUAN SULA-OBİ	7,584	2.21	194.20	6,124
120	WS BURU	8,605	3.21	320.18	10,097
121	WS AMBON-SERAM	19,234	3.84	854.42	26,945
122	WS KEPULAUAN KEI-ARU	10,077	2.41	280.92	8,859
123	WS KEPULAUAN YAMDNA-WETAR	8,997	1.86	194.00	6,118
124	WS KAMUNDAN-SEBYAR	68,072	5.00	3,940.86	124,279
125	WS OMBA	36,915	4.20	1,793.68	56,565
126	WS WAPOGA-MIMİKA	67,442	6.17	4,819.88	152,000
127	WS MAMBERAMO-TAMI-APAUVAR	108,889	4.88	6,148.54	193,900
128	WS EINLANDEN-DIGUL-BIKUMA	131,420	5.03	7,647.10	241,159
INDONESIA		1,897,223	4.03	88,392	2,787,545