

# KAJIAN PENYEDIAAN AIR BERSIH ALTERNATIF MELALUI PEMANENAN AIR HUJAN DI KAWASAN INDUSTRI CITATAH

## ALTERNATIVE WATER SUPPLY THROUGH RAINWATER HARVESTING IN CITATAH MINING INDUSTRIAL AREA

Eka Adhitya Kurniawan<sup>1</sup>, Indra Karna W.<sup>1</sup>, Rully Nurhasan R.<sup>1</sup>

1. Universitas Islam Bandung, Indonesia

Email: Eka.adhitya.k@unisba.ac.id

### ABSTRAK

Kebutuhan air pada era adaptasi kebiasaan baru setelah pandemi *Corona Virus Disease (COVID) 19* semakin bertambah seiring dengan penerapan rutin untuk mencuci tangan, baju dan kebutuhan akan sanitasi lainnya.. Hal ini meningkatkan permasalahan kelangkaan air yang menjadi tantangan khususnya bagi masyarakat di daerah karst. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain pemanenan air hujan yang paling optimal untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat. Pemanenan air hujan adalah strategi dalam rangka memberikan solusi alternatif pada daerah yang menghadapi tantangan terkait pemenuhan air bersih. Kebutuhan air per orang per hari adalah 60l/orang/hari mengacu pada ketentuan dari Peraturan Menteri Dalam Negeri No 23 tahun 2006. Data yang digunakan adalah data harian curah hujan satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* periode Januari 2007 hingga Desember 2019. Pemilihan data satelit didasarkan pada pertimbangan kontinuitas data dan telah dikorelasikan dengan nilai curah hujan pengamatan dari pos hujan Stasiun pengamatan Cimeta. Metode yang digunakan untuk analisis volume tampungan air hujan optimal merupakan modifikasi dari sistem operasi waduk. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pemanenan air hujan pada daerah penelitian dapat digunakan sebagai alternatif sumber air bersih dengan indeks keandalan 80%. Desain tampungan yang paling optimal untuk diusulkan yaitu model 2 buah tampungan dengan kapasitas masing-masing sebesar 50 m<sup>3</sup>.

**Kata kunci:** karst, pemanenan air hujan, TRMM

DOI: 10.15408/jipl.v3i1.31844

### ABSTRACT

The need for water in the era of adapting to new habits after the *Corona Virus Disease (COVID) 19* pandemic is increasing along with the routine implementation of washing hands, clothes, and other sanitation needs. This increases the problem of water scarcity, which is a challenge, especially for people in karst areas. This study aims to obtain the most optimal rainwater harvesting design to meet the community's clean water needs. Rainwater harvesting is a strategy to provide alternative solutions in areas that face challenges related to the fulfillment of clean water. The need for water per person per day is 60l/person/day referring to the provisions of Minister of Home Affairs Regulation No. 23 of 2006. The data used is daily rainfall data from the *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* satellite for the period January 2007 to December 2019. Election data satellite based on consideration of data continuity and has been correlated with the value of rainfall observations from the Cimeta observation station rain post. The method used for the analysis of the optimal volume of rainwater storage is a modification of the reservoir operating system. The results of the analysis show that the rainwater harvesting system in the study area can be used as an alternative source of clean water with an attenuation index of 80%. The most optimal storage design to be proposed is a model of 2 storages with a capacity of 50 m<sup>3</sup> each.

**Keywords:** karst, TRMM, rainwater harvesting

## PENDAHULUAN

Peningkatan populasi diperkirakan akan meningkatkan permintaan akan air bersih hingga 80% pada 2050 (Florke dkk, 2018). Kebutuhan akan air bersih tidak dapat dipungkiri menjadi kebutuhan primer bagi manusia. Kebutuhan akan air pada era adaptasi kebiasaan baru setelah pandemic covid 19 semakin bertambah, seiring dengan penerapan rutin untuk mencuci tangan, baju dan kebutuhan akan sanitasi lainnya. Hal ini meningkatkan permasalahan kelangkaan air bagi masyarakat di khususnya di daerah karst.

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Industri Pertambangan (KIP) Citatah. Sebagian dari KIP Citatah merupakan daerah dengan geologi batuan karst. Daerah karst dapat didefinisikan sebagai bentang alam yang berkembang pada batuan terlarut seperti karbonat (batu gamping, dolomit, dan marmer), batuan evaporit (anhidrit, gipsum, dan halit), dan beberapa nonkarbonat yang larut sebagian seperti kuarsit dan batupasir silika (Goldscheider dkk., 2020). Bentang alam ini biasanya dicirikan oleh adanya bentang alam permukaan seperti dolina dan *sinkhole* (Stevanović, 2015). Industri pertambangan yang ada pada daerah ini adalah industri pertambangan batu gamping dan andesit. Kelangkaan air adalah salah satu masalah utama pada daerah karst, dimana Sebagian besar curah hujan langsung mengalir ke sistem lubang dan gua yang luas (Widiyanti, W & Dittmann, A, 2013). Hal yang memacu kelangkaan air pada daerah karst meliputi penambangan dan ekstraksi mineral, konstruksi dan pengembangan, aktivitas pertanian, perubahan iklim, dan perubahan hidrogeologi lokal (Masilela dkk, 2022). Lahan basah pada KIP Citatah berkurang dari 77-78% pada tahun 2015 menjadi 73-75% pada tahun 2020 (Kurniawan dkk, 2020). Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, masyarakat hanya bisa mengandalkan air bersih dari 2 titik sumber air berupa mata air. Pengeboran pernah dilakukan di Kawasan areal pemukiman hingga kedalaman 70 meter namun tidak diperoleh air bersih.

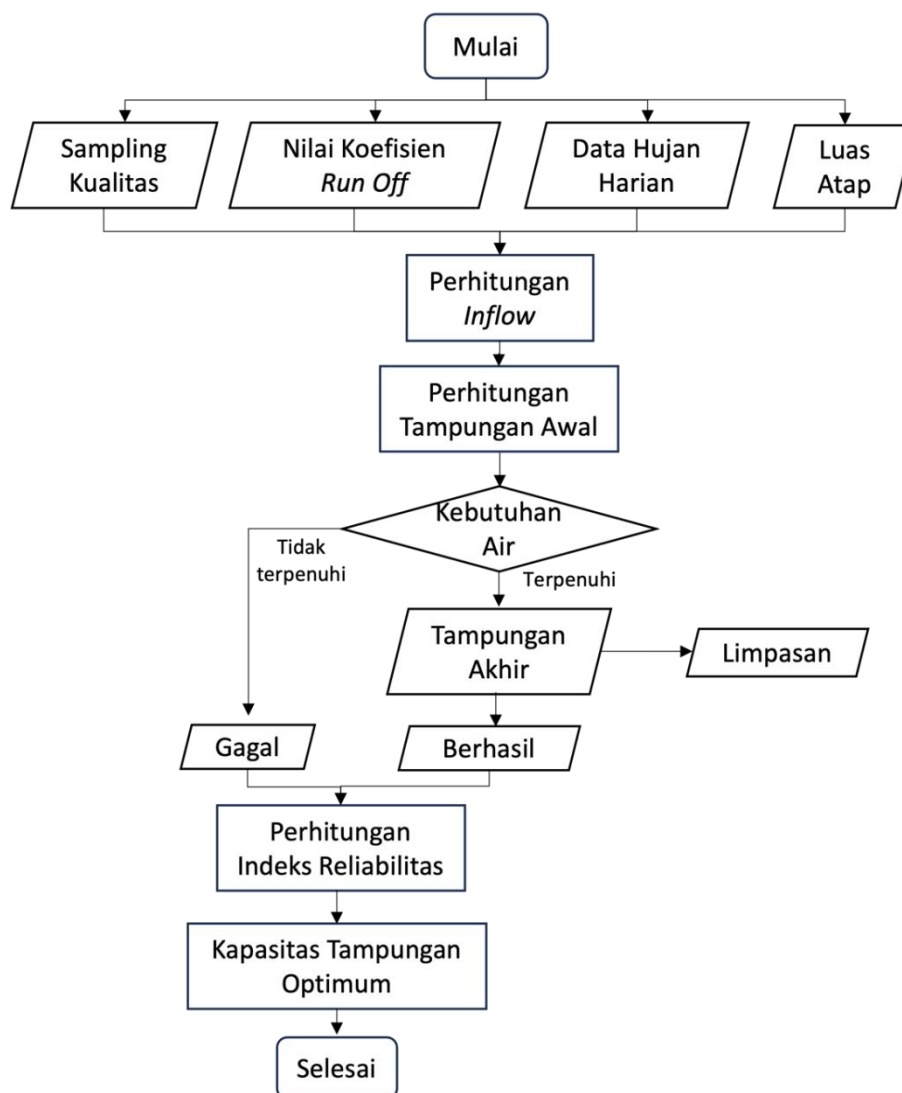
Tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGS) 6 adalah air bersih dan sanitasi. Ini bertujuan untuk memastikan ketersediaan dan pengelolaan air dan sanitasi yang berkelanjutan untuk semua, dan mencapai kualitas dan keberlanjutan sumber daya air di seluruh dunia (C. Tortajada & Biswas, 2018). Untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat di daerah karst, diperlukan adanya sumber air alternatif yang terjangkau. Pemanenan air hujan adalah strategi dalam rangka memberikan solusi alternatif dalam waktu singkat pada daerah daerah yang menghadapi tantangan terkait pemenuhan air bersih. Sistem pemanenan dan penyimpanan air hujan (PAH) telah dipertimbangkan dan digunakan di beberapa negara sebagai sumber air alternatif swasembada (S. Ortiz 2022), dan bahkan di negara-negara seperti Cina, Brasil, Australia, dan India sistem pemanenan air hujan termasuk ke dalam tahap perencanaan kota (O. Aladenola dkk, 2010). Pemanenan air hujan dapat menambah pasokan air, menggantikan mata air yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari hari masyarakat (Cain, 2010). Selain itu Pemanenan air hujan juga dapat mengurangi potensi banjir hingga 10% (Ayzha, 2020) dan mengurangi pemanfaatan air tanah (Rahman dkk, 2014).

Pemanenan air hujan adalah pengumpulan, penyimpanan dan pendistribusian air hujan dari atap, untuk penggunaan di dalam dan di luar rumah (Nguyen and Han, 2014). Menurut peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 tahun 2009 pasal 1 ayat 1: Pemanfaatan air hujan adalah serangkaian kegiatan mengumpulkan, menggunakan, dan/atau meresapkan air hujan ke dalam tanah. Sistem pemanenan air hujan terdiri dari tiga elemen dasar: tempat penampungan (atap), sistem alat angkut (talang atau pipa), dan fasilitas penyimpanan. Ketersediaan air pada penampungan air hujan (PAH) berasal dari limpasan air hujan yang ditangkap oleh atap rumah dan dialirkan ke bak penampungan. Efisiensi dan keandalan dari sistem pemanenan air hujan tergantung pada iklim setempat, sehingga analisis curah hujan diperlukan untuk menentukan ukuran yang tepat dari setiap proyek pengumpulan air hujan (Onderka dkk, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain pemanenan air hujan yang paling optimal untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat sekitar yang terdampak dari penurunan lahan basah pada area studi.

## METODE

Secara garis besar, kegiatan penelitian dapat dikelompokkan menjadi 4 tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data dan analisis. Alur kegiatan tiap tahapan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Pada tahap pengumpulan data dilakukan sampling kualitas air hujan di lokasi rencana pemanenan. Sampel air hujan diambil dari air limpasan atap yang kemudian dilakukan pengujian di Laboratorium Balai Besar Bahan dan Barang Teknik Kementerian Perindustrian sesuai dengan Permen Kes RI no 32 tahun 2017 mengenai persyaratan maksimal kualitas air untuk keperluan higiene sanitasi.

Pada daerah penelitian tidak terdapat pos pengamatan hujan. Pos pengamatan hujan terdekat dengan daerah penelitian adalah pos hujan Cimeta dengan jarak 10 km dari lokasi penelitian. Selain itu ketersediaan data hujan sangat terbatas dan tidak kontinu, sementara itu dibutuhkan data yang menerus dengan periode cukup panjang untuk mendapatkan nilai indeks yang optimal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan data curah hujan satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) pada daerah penelitian periode Januari 2007 hingga Desember 2019 dengan ukuran grid 28 x 28 km. Pemilihan TRMM sebagai data curah hujan dikarenakan perbandingan data hujan TRMM cukup mendekati terhadap data observasi (Mamenun dkk, 2014).

Gambar 2 menunjukkan lokasi pemanenan air hujan. Atap yang digunakan untuk menangkap air hujan ditandai dengan warna kuning, dan lokasi rencana pembangunan tampungan ditandai dengan tanda merah. Air hasil pemanenan air hujan nantinya akan digunakan oleh masyarakat sekitar pabrik yang terletak di sisi barat daya pabrik. Jumlah masyarakat yang berada pada daerah penelitian berdasarkan hasil survey lapangan adalah 171 orang. Selama ini warga mendapatkan suplai air bersih untuk minum dengan membeli air minum isi ulang, sedangkan untuk mandi, mencuci dan kebutuhan lainnya dengan mengandalkan air dari mata air Tanggulun. Kebutuhan air per orang per hari di dunia berkisar antara 50-100 L (Howard, 2003). Di Indonesia sendiri aturan mengenai standar kebutuhan pokok air minum diatur dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri No 23 tahun 2006 sebesar 10 meter kubik/kepala

keluarga/bulan atau 60 liter/orang/hari. Dengan menggunakan asumsi tersebut, maka suplai air bersih yang dibutuhkan adalah sebesar 10 meter kubik/hari.

### Peta Lokasi Penelitian



**Gambar 2.** Lokasi rencana pemanenan air hujan

Volume limpasan dihitung dengan Persamaan (1) yang merupakan fungsi dari curah hujan, luas atap dan jenis penutup atap. Luas bidang penangkap sama dengan luas atap bangunan yang efisiensinya ditentukan oleh jenis material atap.

$$V = I \times A \times K \tag{1}$$

dimana:

- V = volume air yang ditampung (m<sup>3</sup>)
- I = curah hujan (mm)
- A = luas bidang penangkap (m<sup>2</sup>)
- K = koefisien jenis atap

Metoda yang digunakan untuk menganalisis tampungan PAH menerapkan metode analisis dalam operasi waduk. Metoda analisis simulasi merupakan metoda yang sering digunakan (Liaw and Chiang, 2014) karena selain dapat digunakan untuk menentukan volume tampungan, metoda ini juga dapat mengukur tingkat reliabilitas tampungan. Persamaan yang digunakan untuk menentukan volume tampungan PAH adalah:

$$V_t = \sum_{i=0}^{i=t} \text{Max}(0, V_{t-1} + C_t - D_t - O_t) \tag{2}$$

dimana:

- V<sub>t</sub> = volume tampungan pada waktu t
- V<sub>t-1</sub> = volume tampungan pada waktu t-1
- C<sub>t</sub> = ketersediaan air pada waktu t
- D<sub>t</sub> = kebutuhan air pada waktu t
- O<sub>t</sub> = *overflow* pada waktu t.

Terdapat beberapa asumsi yang diterapkan dalam simulasi penentuan desain tampungan ini. Nilai koefisien runoff yang digunakan 0,9 diasumsikan berasal dari proses evaporasi dan hilangnya air

akibat atap. Luas atap yang digunakan untuk daerah tangkapan sesuai dengan luas atap dari pabrik pengolahan yang terdapat di lokasi penelitian yaitu 4200 m<sup>2</sup>. Diasumsikan pengaruh kemiringan sebesar 1,2 sehingga didapat total luas atap 5020 m<sup>2</sup>. Pada tahap awal simulasi, terlebih dulu tampungan diisi sesuai dengan kapasitas tampungan. Jumlah tampungan dikurangi dengan jumlah kebutuhan air menjadi nilai tampungan akhir. Kondisi tampungan awal pada hari berikutnya adalah jumlah tampungan akhir ditambah dengan curah hujan pada hari tersebut (inflow). Simulasi yang dilakukan harus dipastikan tidak ada data kosong untuk curah hujan. Simulasi dikatakan sukses apabila nilai tampungan awal tidak lebih kecil daripada kebutuhan air per hari. Simulasi diujicoba dengan nilai kapasitas tampungan dimulai dari 10 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup>, 30m<sup>3</sup> dan seterusnya hingga mendapatkan nilai reliabilitas yang optimal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

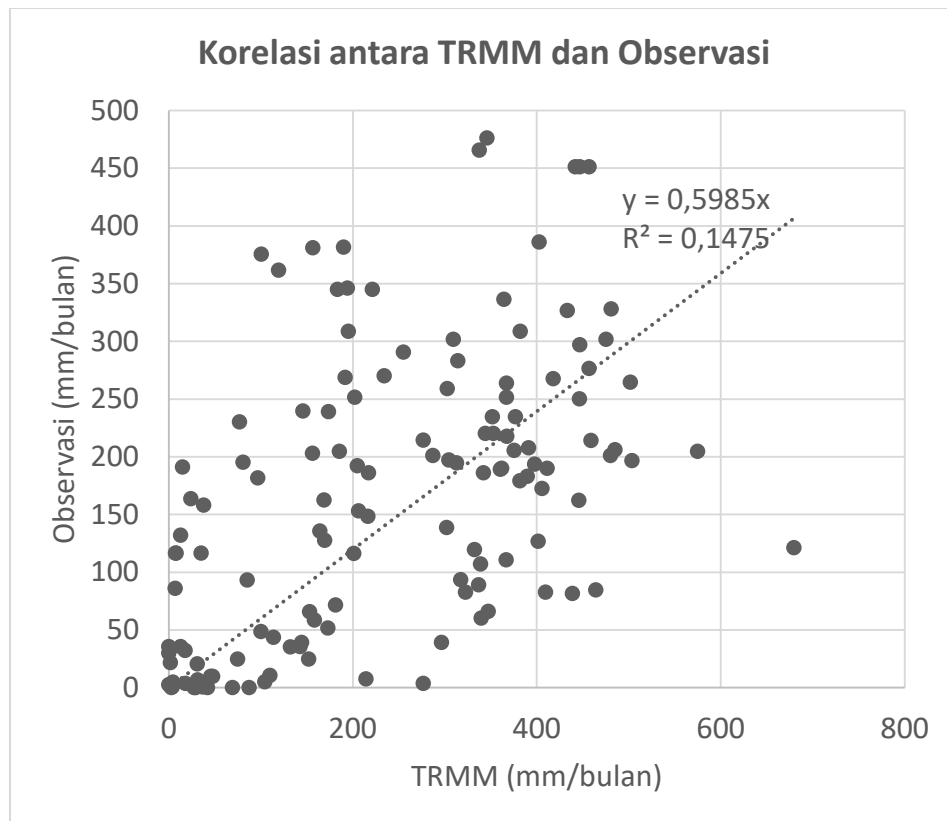
Tabel 1 menunjukkan hasil uji laboratorium dari sampel air hujan. Dari seluruh parameter yang diuji terdapat 1 parameter yang nilainya diatas batas dari permenkes RI yaitu kandungan NO<sub>3</sub>. Air hujan pada daerah penelitian mempunyai kandungan nitrat yang lebih besar (11,82 ppm) dari standar nilai maksimal kualitas air (10 ppm) untuk keperluan higiene sanitasi. Hal yang dikhawatirkan mengenai hujan asam juga tidak terjadi pada daerah penelitian, hal ini ditunjukkan oleh pH netral (6,95) dari hasil uji dan kandungan sulfat yang rendah (11,87 ppm). Mangan dan besi tidak terdeteksi, total padatan terlarut masih di bawah standar yaitu sebesar 158 ppm dari 1000 ppm. Untuk menurunkan kadar nitrat, perlu dilakukan penanganan terhadap air hujan sebelum bisa digunakan oleh masyarakat. Berdasarkan hasil uji kualitas air, desain tampungan yang disarankan adalah 2 buah bak tampungan air, dimana pada bak pertama bisa digunakan sebagai bak pengendapan dan dilakukan filterisasi dengan menggunakan karbon aktif untuk menurunkan nilai kandungan nitratnya. Berdasarkan hasil uji kualitas air ini juga dapat disimpulkan bahwa air hasil pemanenan air hujan sebaiknya tidak digunakan untuk memasak atau minum.

**Tabel 1** Hasil uji kualitas air

Parameter	Hasil Uji	PERMENKES RI 32/2017
<b>Kekeruhan Skala (NTU)</b>	3,22	25
<b>Padatan Dissolved Total (ppm)</b>	158	1000
<b>Reaksi (pH)</b>	6,95	6,5-8,5
<b>NO<sub>3</sub> (ppm)</b>	11,82	10
<b>NO<sub>2</sub> (ppm)</b>	tidak terdeteksi	1
<b>Cl (ppm)</b>	21,32	-
<b>SO<sub>4</sub> (ppm)</b>	11,87	400
<b>Fe (ppm)</b>	tidak terdeteksi	1
<b>Mn (ppm)</b>	tidak terdeteksi	0,5
<b>CaCO<sub>3</sub> (ppm)</b>	87,48	500
<b>Ca (ppm)</b>	22,03	-
<b>Mg (ppm)</b>	7,78	-
<b>DHL (µmhos/cm)</b>	290	-

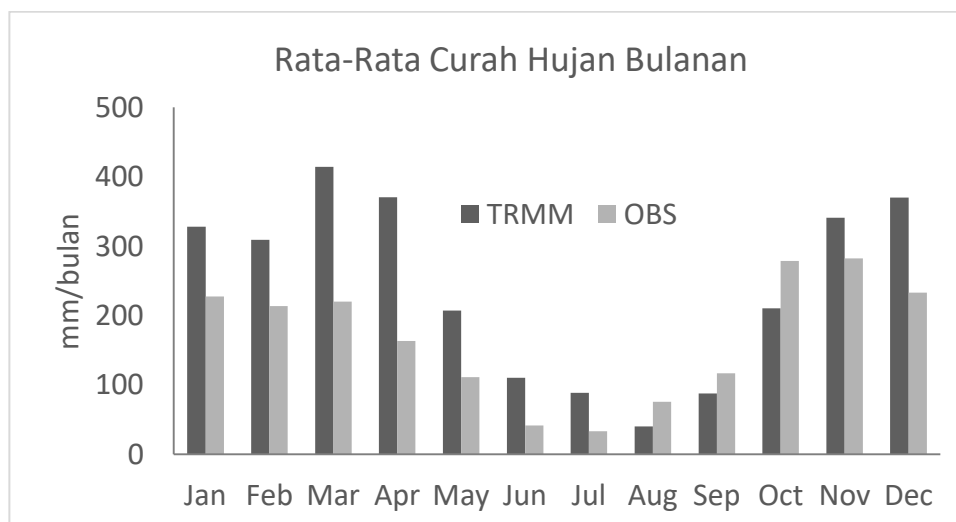
Sebelum menggunakan data satelit TRMM sebagai data curah hujan, terlebih dahulu dilakukan pengecekan dengan menggunakan korelasi antara curah hujan stasiun pengamatan terdekat dari lokasi penelitian dan curah hujan TRMM. Penggunaan data satelit ini telah dikorelasikan dengan nilai curah hujan dari pos hujan Stasiun pengamatan Cimeta PLN Cirata dengan periode Januari 2007 hingga Desember 2016. Hasil korelasi pada gambar 3 menunjukkan bahwa data hujan satelit TRMM dan

stasiun pengamatan memiliki korelasi kuat dengan nilai  $r$  0,7. Sehingga data TRMM dapat digunakan untuk simulasi penentuan tampungan air hujan optimal dalam studi ini.



**Gambar 2** Korelasi data hujan satelit TRMM dan data Stasiun pengamatan Cimeta

Data curah hujan dari TRMM sendiri mampu mengukur intensitas curah hujan dari skala tiga jam-an, namun untuk perhitungan inflow dari air hujan yang akan digunakan adalah data harian. Data rata-rata curah hujan tahunan dapat dilihat pada diagram batang Gambar 3. Hujan turun sepanjang tahun dengan intensitas hujan tinggi pada bulan Oktober hingga Maret.



**Gambar 3** Diagram batang curah hujan daerah penelitian

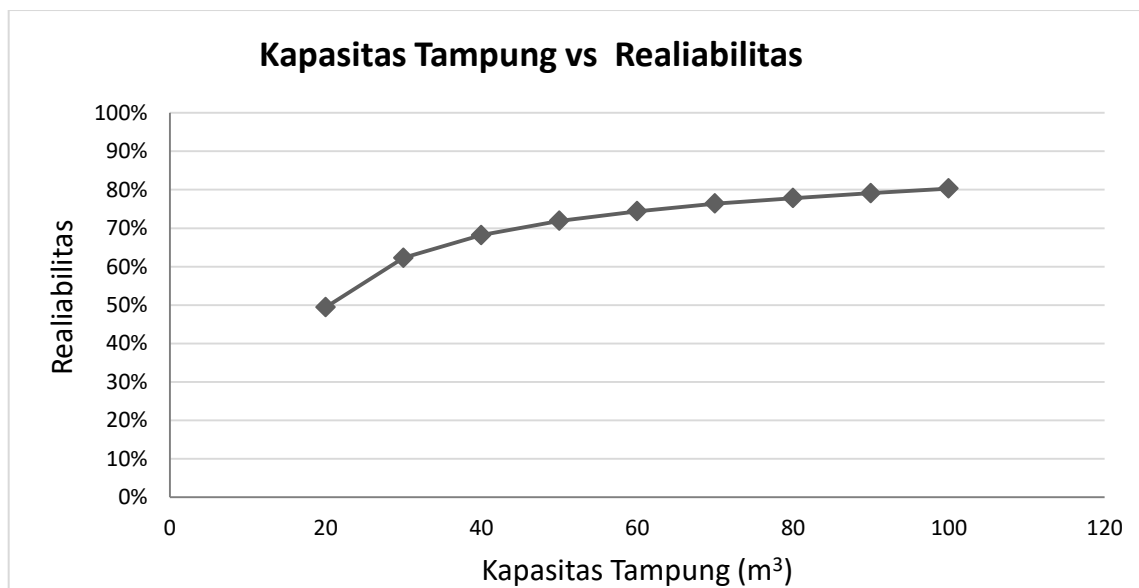
Dari hasil simulasi diperoleh nilai reliabilitas untuk pemenuhan kebutuhan minimum air bersih seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Untuk dapat memenuhi minimal 80% dari kebutuhan air, maka kapasitas tampung ditetapkan sebesar 100 m<sup>3</sup>. Dengan meninjau grafik yang mengkorelasikan nilai kapasitas tampung dan nilai indeks reliabilitas (Gambar 5) dapat dilihat bahwa kurva semakin melandai dengan

bertambahnya kapasitas tampungan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kapasitas volume mulai berkurang pengaruhnya terhadap indeks reliabilitas. Desain yang optimal dari penampungan air hujan juga mempertimbangkan faktor biaya dan efisiensi penggunaan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka volume yang diusulkan adalah 100m<sup>3</sup>.

**Tabel 2** Reliabilitas indeks pada masing-masing kapasitas tampung

Kapasitas	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Realiabilitas	49%	62%	68%	72%	74%	76%	78%	79%	80%

Pada beberapa kondisi simulasi dapat diketahui bahwa terdapat limpasan dari tampungan yang disebabkan akibat nilai curah hujan (*inflow*) yang lebih besar daripada kebutuhan air (*outflow*). Limpasan yang dihasilkan sebaiknya digunakan sebagai imbuhan ke tanah untuk mengisi air tanah dan tidak melimpas di permukaan tanah. Dengan mempertimbangkan luas lahan, ketersediaan, realibilitas, dan kualitas air, maka desain tampungan air hujan yang digunakan adalah 100m<sup>3</sup> yang terbagi menjadi 2 bagian masing masing 50m<sup>3</sup>. Tampungan ini nantinya akan mensuplai air untuk kebutuhan 171 masyarakat sebesar 10m<sup>3</sup>/hari. Berdasarkan simulasi 13 tahun, terdapat 956 hari tampungan tidak dapat memenuhi kebutuhan air dari masyarakat yang disebabkan penggunaan air lebih besar daripada hujan yang ada.



**Gambar 4** Hubungan kapasitas tampungan terhadap indeks reliabilitas

**PENUTUP**

Berdasarkan kegiatan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu sistem pemanenan air hujan pada daerah penelitian dapat digunakan sebagai alternatif sumber air bersih dengan indeks keandalan dan 80% dengan desain kapasitas tampungan sebesar 100 m<sup>3</sup>. Desain tampungan yang paling optimal didesain dengan model 2 buah tampungan dengan masing masing tampungan sebesar 50m<sup>3</sup> dan dipasang filter untuk mengurangi kandungan kimia pada air.

Adapun saran untuk kegiatan penelitian ini yaitu dilakukan sampling kualitas dari air hasil penampungan sebelum digunakan oleh warga dan limpasan yang dihasilkan sebaiknya digunakan sebagai imbuhan ke tanah untuk mengisi air tanah dan tidak melimpas di permukaan tanah.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Islam Bandung serta semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akter, Aysha, Hasan Tanim, Ahad, Islam, Md Kamrul. 2020. 'Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting'. *Water Sci. Eng.* 13, 95–105.
- C. Tortajada, A.K. Biswas. 2018. *Achieving Universal Access to Clean Water and Sanitation In An Era Of Water Scarcity: Strengthening Contributions From Academia*. Curr. Opin.
- Cain, N.L., 2010. A Different path: the global water crisis and rainwater harvesting. *Consilience: The Journal of Sustainable Development*. 3 (1), 187–196.
- Castro, L., Miranda, M.M., Fernandez, B., 2015. Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) In a Mountainous Region of the Central Andes Range with a Mediterranean Climate. *Hydrol. Res.* 46 (89–105), 2015. <https://doi.org/10.2166/nh.2013.096>.
- E. A. Kurniawan, A. Nurrochman, R.N. Ramadani, E. Tribiani, M.Yusuf. 2020. Wetlands Change Mapping in Karst Area of Citatah, WestBandung Regency Using Landsat 8. *Annual Conference on Science and Technology Research*.
- Flörke, M., Schneider, C. & McDonald, R.I. 2018. Water Competition Between Cities and Agriculture Driven By Climate Change And Urban Growth. *Nat Sustain* 1, 51–58 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8>
- Howard G, Bartram J. 2003. *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. Geneva, World Health Organization.
- Liaw, C.H. and Chiang, Y.C. (2014). Dimensionless Analysis for Designing Domestic Rainwater Harvesting System at The Regional Level in Nothern Taiwan. *Journal Water* Vol 6: 3913-3933.
- Mamenun, H. Pawitan, dan A. Sophaheluwakan, 2014. Validasi dan koreksi data satelit TRMM pada tiga pola hujan di Indonesia (Validation and correction of TRMM satellite data on three rainfall patterns in Indonesia),” *J. Meteorol. dan Geofis.*
- Masilela, M.; Beckedahl, H. 2022. Karst Geomorphology and Related Environmental Problems In Southern Africa-A Review. *J. Afr. Earth Sci.* 196, 104686
- N. Goldscheider, Z. Chen, A.S. Auler, M. Bakalowicz, S. Broda, D. Drew, J. Hartmann, G. Jiang, N. Moosdorf, Z. Stevanovic, G. Veni. 2020. Global Distribution of Carbonate Rocks and Karst Water Resources. *Hydrogeol. J.*, 28 (5) (2020), pp. 1661-1677, 10.1007/s10040-020-02139-5
- Nguyen, D.C., Han, M., 2014. Design of dual water supply system using rainwater and groundwater at arsenic contaminated area in Vietnam. *J. Water Supply: Res. Technol.-AQUA* 63 (7), 578–585.
- O. Aladenola, O. Adeboye. 2010. Assessing The Potential for Rainwater Harvesting. *Water Resour. Manag.* 24 (10) (2010) 2129–2137, <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9542-y>.
- Onderka, M., Pecho, J., Nejedlík, P., 2020. On How Rainfall Characteristics Affect The Sizing of Rain Barrels In Slovakia. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 32 (October), 100747. Elsevier B.V.
- Peraturan Menteri Dalam Negeri No 23 Tahun 2006
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 tahun 2009



- Rahman, S., Khan, M.T.R., Akib, S., et al., 2014. Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality. *The Scientific World Journal*. 2014, 721357.
- S. Ortiz, P. de Barros Barreto, M. Castier. 2022. Rainwater Harvesting for Domestic Applications: The Case of Asuncion,Paraguay. *Results in Engineering* 16 (2022), 100638, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100638>.
- Widiyanti, W & Dittmann, A. 2013. Climate Change and Water Scarcity Adaptation Strategies in the Area of Pacitan, Java Indonesia. The 4th International Conference on Sustainable Future for Human Security, Sustain <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.083>
- Z. Stevanović (Ed.). 2015. Karst Aquifers—Characterization and Engineering. *Springer International Publishing*. Berlin/Heidelberg (2015), pp. 47-111