



APLIKASI MODEL TANGKI MIKRO SEBAGAI INDIKATOR ALIRAN LOLOS TAJUK BERDASARKAN KEDALAMAN HUJAN PADA *ACACIA DECURRENS WILLD* DAN *ARTOCARPUS HETEROPHYLLUS*

Ahmad Reza Kasury*, Muhammad Fauzi, Cut Dwi Refika

Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Corresponding author, email address: ahmadrezakasury@usk.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<i>Article History:</i> Received 12 December 2024 Accepted 24 December 2024 Online 30 December 2024 <i>Keywords:</i> Tree crowns Rainfall distribution Micro tank model	Tree crowns are dynamic structures composed of several segments. Each tree crown structure has different characteristics. The dynamic crown structure significantly influences the distribution of rainfall in the crown. The process of rainfall distribution in the crown was studied using a stacked micro tank model. Tank 1 is assumed to be the outermost segment of the crown. In trees with high crown density, the outermost surface of the crown contributes 49.7% to 97.2% of the total runoff. The smallest runoff occurs in tank 2, was represents the segment between leaves and twigs. Leaf characteristics play an important role in distributing water flow in the crown. The application of the micro tank model is a very flexible and easy-to-apply method to understand the rainfall distribution in the tree crown. The water flow process observed in this micro tank model can improve the understanding of the process of raindrop characteristics under the canopy during and after rainfall. ©2024 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Redistribusi hujan merupakan salah satu objek penelitian yang berkembang seiring dengan kebutuhan untuk mitigasi bencana berbasis perubahan iklim. Dampak perubahan iklim adalah peningkatan probabilitas bencana alam berbasis hidrologi. Dampak perubahan iklim dapat juga teridentifikasi dari perubahan morfologi tutupan lahan di daerah tangkapan hujan (Mahmuda, dkk, 2020) Perubahan iklim dan kondisi tutupan vegetasi lahan merupakan faktor yang saling mempengaruhi. Kanopi pohon merupakan salah satu komponen teresterial yang dianggap mempengaruhi permodelan iklim. Sebahagian besar curah hujan yang jatuh di hutan tropis akan terintersepsi oleh kanopi pohon. Kanopi pohon mendistribusi curah hujan yang akan mempengaruhi pembentukan aliran permukaan dan konsentrasi aliran di DAS kanopi pohon juga berperan dalam dalam mengendalikan iklim secara regional (Randall, dkk., 2007).

Salah satu upaya untuk memahami dampak kanopi terhadap proses redistribusi tetesan hujan menjadi tetesan *troughfall* (*Tf*) adalah dengan model tangki. Aplikasi model tangki mikro menjelaskan perubahan dimensi tetesan yang terjadi di bawah kanopi. Selain itu, proses redistribusi hujan pada kanopi memberi pengaruh pada pengelolaan vegetasi. Pada penelitian ini, pengamatan dilakukan pada kanopi pohon berdaun majemuk dan kanopi pohon berdaun lebar.

Kanopi pohon berdaun majemuk yang menjadi objek pengamatan adalah *Acacia decurrens willd* (Akasia berduri). Akasia berduri merupakan vegetasi invasif dari benua Australia dan berpotensi menjadi hama di Indonesia. Sementara kanopi pohon berdaun lebar yang dipilih adalah *Artocarpus heterophyllus* (Nangka). Pohon Nangka merupakan salah satu vegetasi yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Kedua vegetasi ini memiliki karakteristik tajuk yang banyak ditemukan di Indonesia.

2. KAJIAN PUSTAKA

Redistribusi hujan oleh kanopi pohon ditentukan oleh parameter biologi (Bruijnzeel dan Wiersum, 1987), manajemen perawatan vegetasi (Brandt, 1987), arsitektur pohon (Xiao dkk., 2000) dan parameter klimatologi (Crockford dan Richardson, 2000). Parameter biologi yang memberi pengaruh signifikan terhadap redistribusi hujan pada kanopi. Struktur kanopi pohon yang tersusun dari daun, ranting, dahan dan batang memiliki fungsi yang berbeda pada proses redistribusi hujan. Karakteristik daun dan intensitas hujan memiliki peranan yang signifikan pada proses redistribusi hujan. Pada pohon tropis berdaun lebar, daun merupakan bagian paling awal berinteraksi dengan tetesan air hujan (P_G).

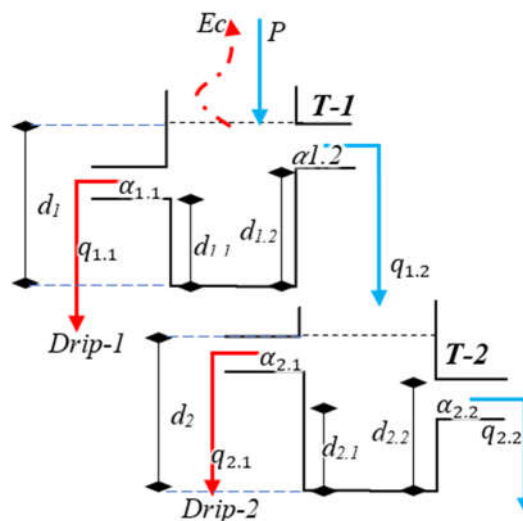
Redistribusi curah hujan oleh pohon merupakan proses interaksi seluruh komponen pohon secara berjenjang. Nanko dkk. (2022) mendeskripsikan proses redistribusi pada kanopi merupakan interaksi beberapa segmen dengan karakteristik yang heterogen. Segmen terluar kanopi merupakan daun atau kombinasi dari daun dan ranting. Segmen selanjutnya dapat terdiri dari kombinasi antara daun, ranting dan dahan. Pembentukan segmen sangat tergantung kepada jenis pohon (Halle, 1978).

Li dkk. (2013) membagi kapasitas tampungan kanopi terisi menjadi 2 kondisi. Kondisi pertama adalah tampungan kanopi yang terisi minimum dan tampungan kanopi yang terisi penuh atau maksimum. Kanopi yang terisi minimum dipengaruhi secara signifikan oleh karakteristik bio massa (*litter mass*), tetapi tidak terpengaruh oleh intensitas hujan. Sementara bila tampungan kanopi yang terisi penuh atau maksimum, intensitas hujan memberi pengaruh yang sangat signifikan. Kondisi tampungan kanopi dapat dianalisa berdasarkan ketebalan air yang tertahan di kanopi per unit ground area (Calder dkk., 1996).

3. METODE PENELITIAN

Konsep model tangki yang diaplikasikan pada penelitian ini menggunakan konsep model tangki yang dikembangkan oleh Hashino dkk. (2002). Model tangki yang digunakan adalah model tangki mikro bertingkat. Setiap tingkatan tangki mewakili memiliki proses redistribusi hujan yang terjadi setelah proses di tangki sebelumnya telah selesai. Kapasitas tampungan pada setiap segmen kanopi berhubungan dengan struktur tajuk (Kasury dkk., 2020).

Pada penelitian ini, analisa dilakukan secara terbatas pada tangki 1 (T-1) dan tangki 2 (T-2). T-1 dan T-2 mendeskripsikan proses redistribusi hujan yang terjadi di permukaan kanopi. Tetesan air langsung dari T-1 dan T-2 merupakan bagian dari *canopy surface drip*. Pada penelitian ini, penguapan yang terjadi di batang atau area berkayu di pohon diabaikan. Penguapan diasumsikan hanya dari permukaan kanopi (E_c). Skema model mikro tangki disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema model mikro tangki

Gambar 1 dapat dituliskan dalam bentuk persamaan model tangki sebagai berikut.

$$q_{1.1(t)} = \alpha_{1.1} \times (d_{1(t-1)} + P_{(t)} - Ec_{(t)} - d_{1.1(t)}); d_{1(t-1)} > d_{1.1} \quad (1)$$

$$q_{1.1(t+1)} = 0; d_{1(t-1)} \leq d_{1.1} \quad (1)$$

$$q_{1.2(t)} = \alpha_{1.2} \times (d_{1(t-1)} + P_{(t)} - Ec_{(t)} - d_{1.2}); d_{1(t-1)} > d_{1.2} \quad (2)$$

$$q_{1.2(t+1)} = 0; d_{1(t-1)} \leq d_{1.2} \quad (3)$$

$$d_{1(t)} = (d_{1(t-1)} + P_{(t)} - Ec_{(t)} - q_{1.1(t)} - q_{1.2(t)}) \quad (4)$$

$$\alpha_{1.1} = \lambda_{(z,\theta)} \cdot a_{l(z)} \cdot \theta_{can} \cdot \sin(\theta) \cdot \alpha_l \quad (5)$$

$$\alpha_{1.2} = 1 - \alpha_{1.1} \quad (6)$$

Dengan $d_{1(t)}$ = kedalaman air di permukaan kanopi pada waktu ke-t (mm), $q_{1(t)}$ = debit aliran persatuan luas di permukaan kanopi pada waktu ke-t (mm), $P_{(t)}$ = kedalaman hujan pada waktu ke-t (mm/menit), $Ec_{(t)}$ = *interception loss* pada waktu ke-t (mm), $\alpha_{1.1}$ = rasio air menetes ke permukaan tanah dari permukaan kanopi ($0 < \alpha_{1.1} < 1$), $\alpha_{1.2}$ = rasio air mengalir atau menetes ke segmen selanjutnya, $\lambda_{0(\theta,z)}$ = rasio naungan daun terhadap daun segmen sebelumnya ($0 < \lambda_{0(\theta,z)} < 1$), $a_{l(z)}$ = kepadatan daun per luas amatan ($0 < a_{l(z)} \leq 1$), θ_{can} = faktor bentuk kanopi ($0 < \theta_{can} < 1$), θ = sebaran sudut daun terhadap sumbu vertikal ($^\circ$) dan α_l = faktor sebaran daun terhadap ranting ($0 < \alpha_l < 1$).

Azinor dan Minjao (2012) menyatakan bahwa Ec dapat di estimasi berdasarkan perubahan kedalaman hujan (P) dan kedalaman air di kanopi (d) dengan menggunakan persamaan (8).

$$Ec_{(t)} = P_{(t)} \left(1 - e^{-\left(0.109 \cdot d_{(t)}^{0.58}\right)} \right) \quad (8)$$

Pada tangki ke-2 (T-2), tetesan air hanya akan terjadi bila intensitas hujan meningkat hingga kapasitas tampungan ranting terlampaui. Aliran di ranting memiliki kecenderungan mengalir dibandingkan dengan menetes. Proses yang terjadi pada tangki ke-2 dituliskan dalam bentuk persamaan (9) sampai persamaan (15).

$$q_{2.2(t)} = \alpha_{2.2} \times (d_{2(t-1)} + q_{1.2(t)} - d_{2.2(t)}) \quad (9)$$

$$q_{2.2(t+1)} = 0 \quad (10)$$

$$q_{2.1(t)} = \alpha_{2.1} \times (d_{2(t-1)} + q_{1.2(t)} - d_{2.2}) \quad (11)$$

$$q_{2.1(t+1)} = 0 \quad (12)$$

$$d_{2(t)} = (d_{2(t-1)} + q_{1.2(t)} - q_{2.2(t)} - q_{2.1(t)}) \quad (13)$$

$$\alpha_{2.2} = \frac{\varphi \cdot \pi \cdot \overline{\phi_t}}{L_t} \quad (14)$$

$$\alpha_{2.1} = 1 - \alpha_{2.2} \quad (15)$$

Dengan ϕ_t = diameter rerata ranting (mm), φ = faktor distribusi letak daun terhadap ranting (*sparsa* = 0,3; *verticillata* = 0,4 dan *opposita* = 0,5) dan $\overline{L_t}$ = jarak rerata helai daun terakhir dengan titik pangkal ranting (mm).

Karakteristiki pohon yang digunakan untuk menguji model tangki mikro pada penelitian ini adalah pohon berdaun majemuk dan pohon berdaun lebar. Jenis pohon yang digunakan adalah Akasia berduri (*Acacia decurrens Willd*) dan Nangka (*Artocarpus heterophyllus*). Data karakteristik dari masing-masing pohon sampel disajikan pada Tabel 1.

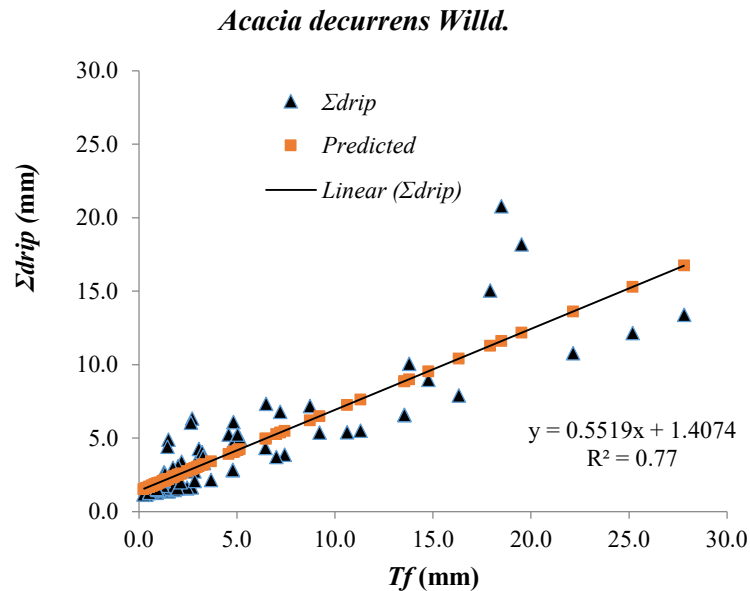
Tabel 1 . Karakteristik pohon sampel

Jenis Pohon	α ($^\circ$)	β ($^\circ$)	θ ($^\circ$)	LAI	CPA	$\square_{l(z)}$	$\square_{0(\theta,z)}$	Lt (mm)	Ls (mm)	ϕ_s (mm)
<i>Acacia decurrens Willd</i>	30	35	78	2,5	2,6	0,2	0,3	43,5	529	14
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	72	37	38	3,8	4,3	0,7	0,5	54	765	43.5

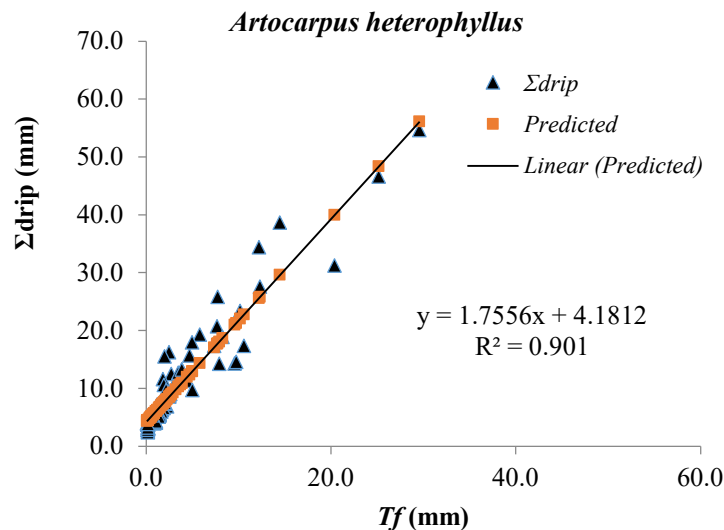
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Korelasi Aliran Lolos Tajuk (T_f)

Perbedaan yang terjadi antara T_f hasil hitungan model mikro tangki (*predicted*) dan T_f pengamatan lapangan (*drip*) disebabkan oleh koefisien aliran yang digunakan pada model (Sugawara, 1979). Pada penelitian ini, tampilan perbedaan kumulatif *drip* dari model tangki dengan *drip* disandingkan berdasarkan konfigurasi daun, bentuk daun, *LAI*, dan rasio dimensi lebar daun. Tampilan korelasi kumulatif *drip* dari *predicted* dengan *drip* disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Korelasi T_f pengukuran dan hitung pada *Acacia decurrens Willd*



Gambar 3. Korelasi T_f pengukuran dan hitung pada *Artocarpus heterophyllus*

Peningkatan T_f secara linier terjadi pada kedalaman hujan kurang dari 19 mm (pada hasil pengukuran atau hitungan). Pada hujan dengan kedalaman lebih dari 19 mm, terjadi perbedaan gradien garis yang tegas antar spesies. Laju T_f pada pohon *Acacia d. w.* lebih kecil dibandingkan dengan *Artocarpus het.* Pengujian varian dilakukan untuk menganalisa tingkat signifikansi pengaruh kedalaman hujan dan jenis pohon pada T_{fukur} . Hasil pengujian ANOVA disajikan pada Tabel 2.

Pengujian ANOVA memperlihatkan bahwa kedalaman hujan dan jenis pohon memberi pengaruh signifikan terhadap laju Tf pada data terukur atau hitung. Hasil penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa intensitas hujan, karakteristik tetesan hujan dan proyeksi arah hujan terhadap kanopi memberi pengaruh pada Tf (Exler dan Moore, 2020). Wang dkk., (2005) menyatakan bahwa pada intensitas hujan yang tinggi, probabilitas terjadinya percikan pada sisi terluar kanopi lebih besar dari hujan dengan intensitas sedang atau rendah.

Tabel 2. Pengujian ANOVA *observed* dan *drip*

Source of Var.	SS	df	MS	F	F_{crit} (5%)	F_{crit} (1%)
I<5 mm/jam	P (mm)	19,73	1	19,73	15,62	5,32 Ya
	Sampel	95,26	8	11,91	9,43	3,44 Ya
	Error	10,11	8	1,26		
5≤I<10 mm/jam	P (mm)	2.542,15	16	158,88	32,44	1,72 Ya
	Sampel	1.201,65	8	150,21	30,67	2,01 Ya
	Error	626,92	128	4,90		
10≤I<20 mm/jam	P (mm)	23.538,05	49	480,37	25,77	1,39 Ya
	Sampel	6.087,42	8	760,93	40,82	1,96 Ya
	Error	7.307,09	392	18,64		
I≥20 mm/jam	P (mm)	6.657,91	13	512,15	14,85	1,82 Ya
	Sampel	5.805,21	8	725,65	21,04	2,03 Ya
	Error	3.586,88	104	34,49		

4.2 Pembahasan

Perbedaan korelasi pada masing-masing sampel disebabkan oleh karakteristik daun dan struktur kanopi. Perbedaan tersebut menyebabkan perbedaan pada aliran lolos tajuk atau tetesan air dari kanopi pohon. Aliran lolos tajuk (*troughfall*) akan terkonsentrasi menjadi aliran menyusuri tajuk sampai ke sisi terluar atau jatuh ke bawah kanopi. Perbedaan distribusi *troughfall* yang signifikan terjadi karena konfigurasi daun terhadap ranting, karakteristik ranting dan struktur dahan. Konfigurasi daun berbentuk serupa dengan *cone* yang bertitik pusat di ranting memiliki *troughfall* lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Hasil serupa diperoleh juga oleh Jeoung dkk. (2022). Sementara itu, bentuk daun yang serupa dan rasio lebar daun tidak memberi pengaruh signifikan terhadap distribusi *troughfall*.

Pada pohon berdaun majemuk, konfigurasi daun terhadap ranting menyebar. Pada pohon berdaun majemuk, daun tidak mengkonsentrasikan aliran menuju satu arah. Aliran di permukaan kanopi berdaun majemuk cenderung menetes atau mengalir ke segmen selanjutnya.

Karakteristik pohon dan kedalaman hujan memberi pengaruh signifikan pada fase awal distribusi hujan oleh kanopi pohon (T-1). Daun merupakan komponen kanopi yang berfungsi sebagai *canopy surface troughfall funneling* pada permukaan kanopi (Li dkk., 2016). Konsentrasi air di permukaan kanopi memberi pengaruh pada proses aliran ke segmen selanjutnya (Xiao dkk., 2000). Distribusi aliran menjadi *canopy surface drip* pada T-2 memperlihatkan bahwa jenis pohon memberi pengaruh lebih signifikan dibandingkan dengan kedalaman hujan (P). Hasil yang diperoleh serupa dengan penelitian yang pernah dipublikasikan oleh Kasury dkk. (2020).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Aplikasi model tangki pada kanopi pohon tropis memperlihatkan pengaruh yang signifikan dari karakteristik dan struktur permukaan kanopi terhadap distribusi hujan. Faktor luas permukaan kanopi dan kemampuan tampungan permukaan kanopi mempengaruhi *interception loss*. Penelitian ini menemukan fakta kedalaman hujan memberi pengaruh lebih kecil dibandingkan dengan faktor karakteristik spesies pohon pada laju Tf . Distribusi Tf (*troughfall*) sangat dipengaruhi oleh karakteristik dan struktur daun, distribusi daun, struktur dan karakteristik ranting, distribusi sudut dan dimensi dahan.

Kemampuan untuk mengidentifikasi volume air yang terintersepsi berdasarkan jenis kanopi pohon dan intensitas hujan merupakan keterampilan yang wajib dimiliki oleh hidrologis dan planologis. Pada beberapa kejadian, keputusan untuk pengelolaan *landscape* atau pohon peneduh berdampak pada peningkatan dimensi tetesan *troughfall* yang mengakibatkan peningkatan laju erosi lahan. Aplikasi model tangki mikro menjadi solusi sederhana untuk memahami interaksi antara kanopi pohon dan hujan. Aplikasi model mikro tangki merupakan cara yang sangat sederhana tetapi sangat efektif dalam mengetahui proses redistribusi air di kanopi pohon. Oleh karena itu, penerapan model tangki dapat diujikan pada beberapa variasi spesies pohon dengan beragam perlakuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azinoor Azida, A. B., Minjiao, L. 2012. Evaluation of A Simple Annual Canopy Evaporation Equation. *Annual Journal of Hydraulic Engineers (JSCE)*. 187-192.
- Brandt, J. 1987. The effect of different types of forest management on the transformation of rainfall energy by the canopy in relation to soil erosion. *Proceedings of the Forest Hydrology Watershed Management Conference*. 167, 213-222. Vancouver, BC: IAHS Publication.
- Bruijnzeel, L. A., Wiersum, K. F. 1987. Rainfall Interception by A Young *Acacia Auriculiformis* (A. Cunn) Plantation Forest In West Java, Indonesia : Application of Gash's Analytical Model. *Hydrological Processes*. 1(4), 309-319. doi:10.1002/hyp.3360010402
- Calder, I. R., Hall, R. L., Rosier, P. T., Bastable, H. G., Prasanna, K. T. 1996. Dependence of rainfall interception on drop size: 2. Experimental determination of the parameter for five tropical tree species. *Journal of Hydrology*. 185(1), 379-388. doi:10.1016/0022-1694(95)02999-0
- Crockford, R. H., Richardson, D. P. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrology Processes*. 14(16-17), 2903-2920.
- Exler, J. L., Moore, R. 2020. Quantifying throughfall, stemflow and interception loss in five vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 327, 109202.
- Halle F, O. R. 1978. *Tropical Trees and Forest, An Architecture Analysis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Hashino, M., Yao, H., Yoshida, H. 2002. Studies And Evaluations On Interception Processes During Rainfall Based On A Tank Model. *Journal of Hydrology*, 1-11.
- Jeong, S., Nanko, K., Katayama, A., Kume, M., Koga, S., & Otsuki, K. 2022. Characteristics of throughfall kinetic energy in an unmanaged Japanese cypress plantation laden with dead branches. *CATENA*. 234, 108181.
- Kasury, A. R., Sujono, J., Jayadi, R. 2020 . Effect of leaf inclination and rainfall intensity on the canopy wetness index of *artocarpus heterophyllus*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 012023. Malang: IOP Publishing.
- Li, X., Niu, J., Xie, B. 2013. Study on hydrological Functions of litter layers in North China. *PLoS ONE*. 8(7), 1-11. doi:10.1371/journal.pone.0070328
- Li, X., Niu, J., Zhang, L., Xiao, Q., McPherson, G.E., Van Doorn, N., Yu, X., Xie, B., Dymond, S., Li, J. and Meng, C., 2016. A study on crown interception with four dominant tree species: A direct measurement. *Hydrology Research*. 47(4), 857-868.
- Mahmuda, M., Achmad, A., Azmeri. 2020. Pengembangan Ekowisata Di Kawasan Waduk Keuliling Kecamatan Kuta Cot Glie Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*. 3(2), 138-147. doi:doi.org/10.24815/jarsp.v3i2.16564
- Nanko, K., Keim, R. F., Hudson, S. A. 2022. Throughfall drop sizes suggest canopy flowpaths vary by phenophase. *Journal of Hydrology*. 612, 128144.

- Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J. and Stouffer, R.J. 2007. Climate Models and Their Evaluation. Dalam S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, . . . H. Miller. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Sugawara, M. 1979. Automatic calibration of the tank model. *Hydrological Science Bulletin*. 24(3), 375-388. doi:10.1080/026266667909491876
- Wang, A., Li, J., Liu, J., Pei, T., Jin, C. 2005. A semi-theoretical model of canopy rainfall interception for *Pinus Koraiensis* Nakai. *Ecological Modelling*. 355-361. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.11.001
- Xiao, Q., McPherson, E. G., Ustin, S. L., Grismer, M. E. 2000. A new approach to modelling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research*. 105, 173-188.