



Lubang Resapan Biopori Sebagai Upaya Pencegahan Bencana Banjir di Kota Palangka Raya

Gusti Iqbal Tawaqal¹⁾, Rudy Yoga Lesmana^{1),*}

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, Jl. RTA. Milono, Km. 1,5 Palangka Raya, Indonesia

*yogalesmanaryl@gmail.com

Abstrak: Air hujan sebelum mencapai permukaan tanah, tertahan oleh vegetasi maupun sampah yang menumpuk di tanah. Air hujan yang dapat mencapai permukaan tanah jika permukaannya tidak kedap air, dapat bergerak masuk ke dalam tanah dengan gaya gravitasi dan gaya kapiler dalam suatu aliran disebut infiltrasi (Seyhan, 1990). Dengan infiltrasi, limpasan permukaan akan terkendali. Lubang resapan biopori (LRB) berperan sebagai pintu masuk bagi air hujan untuk dapat masuk ke dalam tanah. LRB yang diisi sampah organik akan memancing berbagai organisme melakukan pergerakan yang akan memperbesar pori yang ada di dalam tanah untuk mempercepat proses penyerapan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas infiltrasi air hujan di permukaan dan untuk mengetahui jenis sampah yang dapat mempengaruhi laju infiltrasi. Pengukuran laju infiltrasi dilakukan dengan bantuan alat biopori. Secara keseluruhan laju infiltrasi maksimum terjadi pada minggu ke 2 sampai minggu ke 5. Pembusukan terjadi tergantung dari komposisi jenis sampah. Pada komposisi daun kering 100% (LRB B) dan sampah dapur 100% (LRB D) peningkatan maksimum terjadi dalam 2 minggu sebanyak 20,97% dan 19,26%. Pada komposisi campuran, pembusukan paling cepat dan paling berpengaruh terjadi pada LRB E3. Keadaan lingkungan seperti cuaca, jenis tanah, curah hujan, luas wilayah, dan topografi serta faktor lainnya juga dapat berpengaruh terhadap hasil pengujian.

Kata Kunci: Penanganan Banjir, Infiltrasi, Persampahan

1. PENDAHULUAN

Permasalahan air adalah kurangnya jumlah air bersih pada musim kemarau, dan kelebihan di musim penghujan. Hal ini sangat mungkin terjadi pada daerah padat penduduk seperti di perkotaan yg memiliki ruang terbuka hijau yang minim dibanding luas daerah terbangun. Air hujan sebelum mencapai permukaan tanah, akan tertahan oleh vegetasi. Sebagian dari air hujan akan tersimpan di permukaan vegetasi atau daun, dan Sebagian lainnya akan jatuh ke permukaan tanah melalui sela-sela daun atau melalui permukaan batang pohon. Air hujan yang dapat mencapai permukaan tanah jika permukaannya tidak kedap air, dapat bergerak masuk ke dalam tanah dengan gaya gravitasi dan gaya kapiler dalam suatu aliran yang disebut infiltrasi (Seyhan, 1990)

Proses infiltrasi adalah bagian yang sangat penting dalam siklus hidrologi khususnya dalam proses pengalihan hujan menjadi aliran di sungai. Dengan adanya infiltrasi yang optimal, maka limpasan permukaan akan terkendali, selain itu tanaman juga akan memperoleh cadangan air yang diikat oleh akarnya, serta menyuplai kebutuhan evapotranspirasi. Lubang resapan biopori merupakan salah satu rekayasa teknik konservasi air, berupa lubang lubang yang dibuat pada permukaan bumi yang berperan sebagai pintu masuk bagi air hujan untuk dapat masuk ke dalam tanah. Lubang biopori yang diisi sampah organik akan memancing berbagai organisme maupun mikroorganisme untuk melakukan pergerakan yang akan membentuk atau memperbesar alur-alur pori yang ada di dalam tanah untuk mempercepat proses penyerapan air oleh tanah.

Penelitian ini dilakukan di Jalan Sakan dan Komplek Pasar Kahayan Jl. Cilik Riwut Km 1,5 Kota Palangka Raya. Area tersebut sering terjadi banjir, terutama jika termasuk kategori hujan lebat dengan lama hujan lebih dari 4 jam. Dampak dari hujan lebat adalah berujung terjadinya banjir bila air permukaan tidak mengalir ke drainase terdekat dan tidak meresap kedalam tanah. Ditambah lagi disekitar komplek pasar terdapat permukiman yg bila terjadi banjir maka aktivitas warga akan terganggu. Dari uraian tersebut di atas maka diperlukan suatu studi tentang “Pengaruh Jenis Sampah Terhadap Laju Infiltrasi Pada Lubang Resapan Biopori Di Kota Palangka Raya”.

2. METODE

Jenis data yang digunakan untuk penelitian ini ada dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari pengamatan dan pengukuran langsung laju infiltrasi pada lubang resapan biopori. Data sekunder berupa data curah hujan dan peta tataguna lahan serta luasan lahan.

Lubang resapan biopori dibuat sebanyak 10 lubang yang tersebar di kompleks Pasar Kahayan dengan kedalaman 80-100 cm dengan diameter 4 inchi (lihat gambar 1). Pada masing-masing lubang dimasukkan berbagai jenis sampah (lihat tabel 1)

Tabel 1. Jenis Sampah pada Lubang Resapan Biopori

LRB	Jenis Sampah
A	Tanpa sampah
B	Daun kering 100%
C	Sampah dapur 100%
D	Sampah ikan/daging 100%
E1	Daun kering 25%, sampah dapur 75%
E2	Daun kering 75%, sampah dapur 25%
E3	Sampah dapur 75%, sampah ikan/daging 25%
E4	Sampah dapur 25%, sampah ikan/daging 75%
E5	Sampah ikan/daging 25%, daun kering 75%
E6	Sampah ikan/daging 75%, daun kering 25%

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan dengan bantuan alat ember ukur dan stopwatch. Ember ukur adalah ember plastik dengan kapasitas 10 liter dan sudah diberi skala liter dibagian luarnya. Pengukuran dilakukan dengan cara menuangkan air dari ember ukur kedalam lubang resapan biopori (LRB) hingga penuh, kemudian mencatat sisa air yang berada di ember ukur. Volume air yang terinfiltrasi merupakan selisih antara volume air awal di ember (kondisi penuh) dengan air yang tersisa di ember setelah dituangkan ke LRB. Laju infiltrasi merupakan volume air yang terinfiltrasi dibagi dengan rentang waktu pengamatan, dalam penelitian ini adalah 5 menit. Data hasil pengukuran laju infiltrasi dilapangan dihitung persentasenya menggunakan persamaan:

$$\text{Persentase laju infiltrasi} = \frac{\text{Laju infiltrasi maks} - \text{Laju infiltrasi awal}}{\text{Laju infiltrasi awal}} \times 100\%$$

Berdasarkan penelitian biopori dari R.T. Sibarani dan Didik Bambang S., diperoleh bahwa sampah kulit buah lebih besar dalam meresapkan air pada LRB. Hal ini disebabkan aroma kulit buah sangat kuat dan berasa manis sehingga mampu menarik lebih banyak mikroba serta hewan pengurai lainnya seperti cacing, semut, rayap, dll. Selain itu, permukaan kulit yang licin/angka kekerasannya sangat kecil juga berpengaruh dalam melewatkan air menjadi semakin mudah.



Gambar 1. Pipa Paralon Untuk Lubang Resapan Biopori

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Jekan Raya, Kota Palangka Raya. Kota Palangka Raya secara geografis terletak pada 113° 30' - 114° 07' Bujur Timur dan 1° 35' - 2° 24' Lintang Selatan, dengan luas wilayah

2.853,52 Km² (267.851 Ha) dengan topografi terdiri dari tanah datar dan berbukit dengan kemiringan kurang dari 40%.

Kondisi tanah Kota Palangka Raya memiliki 2 jenis yaitu tanah mineral dan tanah histosol (gambut). Tanah mineral adalah tanah yang terbentuk dan berkembang dari bahan mineral, melalui proses pelapukan, baik secara fisis maupun kimia, dibantu oleh pengaruh iklim, menyebabkan batuan terdisintegrasi menjadi bahan induk lepas, dan selanjutnya dibawah pengaruh proses – proses pedogenesis berkembang menjadi tanah. Di bagian selatan, jenis tanah yang dominan adalah tanah Gambut dan tanah Aluvial, terutama pada bagian selatan Kota Palangka Raya dengan kondisi drainase yang kurang bagus. Sedangkan jenis tanah yang ada di sebelah utara wilayah Kota Palangka Raya didominasi oleh tanah podsolik merah kuning, podsol dan alluvial. Pada daerah-daerah pinggir sungai umumnya didominasi oleh tanah aluvial yang berasal dari endapan sungai. Di wilayah Kota Palangka Raya terdapat tiga sungai/anak sungai besar, yaitu Sungai Kahayan, Sungai Rungan dan Sungai Sabangau.

Salah satu faktor yang mempengaruhi infiltrasi adalah curah hujan, karena salah satu sumber air saat proses infiltrasi berlangsung adalah hujan itu sendiri. Berikut adalah data curah hujan Kota Palangka Raya sepuluh tahun terakhir, seperti yang ditunjukkan tabel 2.

Tabel 2. Curah Hujan Kota Palangka Raya Tahun 2010 - 2019

Bulan/Tahun	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Januari	313.2	317.3	434.6	427.2	138.3	286	398.3	354.5	485.5	282
Februari	353.4	280.3	255.9	522.4	149.4	466.6	373	166.4	262.2	481
Maret	368.4	511.1	339.5	253.4	294.8	434.9	248.5	475.7	342.5	396
April	405	356.2	269.1	251.9	575.9	292.7	443.9	235.7	421.9	275
Mei	346.1	376.6	229.3	284.5	223.2	326.1	292	475.7	134.7	70
Juni	291.4	36.1	136.4	135.8	207.7	135	436.6	322.3	118.6	35
Juli	318.8	122.9	244.3	242.9	41	31.9	160.9	134.4	148.3	7
Agustus	302.9	26.6	51.7	146	62.3	23	188.5	169.5	73.1	59
September	428.8	176.5	72.3	159	121	-	280.4	67.1	28.8	55
Oktober	729.1	414.9	250.7	121.2	123	60	317.6	237.3	155.8	180
November	328.6	427.2	243.5	319.1	312.3	430.8	257.1	409.8	265.2	133
Desember	322.3	388.9	247.5	396.1	604.7	262.7	214.1	403	360.3	361
CH Maks	729.1	511.1	434.6	522.4	604.7	466.6	443.9	475.7	485.5	481

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) – Stasiun Meteorologi Tjilik Riwut Palangka Raya

Musim penghujan di Indonesia umumnya terjadi bulan oktober sampai februari dan musim kemarau terjadi bulan maret sampai september. Data pada tabel diatas menunjukkan curah hujan tertinggi pada tahun 2010 bulan oktober yaitu 729.1 mm, namun perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui intensitas curah hujan pada periode ulang tertentu. Periode ulang adalah didefinisikan sebagai waktu hipotetik dimana debit atau hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Hasil analisis data curah hujan menunjukkan bahwa intensitas curah hujan dalam 5 tahun adalah 13.16 mm/jam, jika dalam 10 tahun adalah 18.15 mm/jam. Berdasarkan hasil analisis masuk dalam keadaan hujan lebat.

Berdasarkan hasil survey didapatkan 10 titik pengujian LRB di lokasi penelitian. Alasan pemilihan titik-titik pengujian tersebut adalah karena saat hujan dengan durasi lebih dari 4 jam lokasi tersebut sering tergenang. Selain itu ada keseragaman pada jenis tanahnya. Variasi jenis sampah serta tata guna lahannya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Variasi Komposisi Sampah Pada Lubang Resapan Biopori (LRB) di Lokasi Penelitian

LRB	Jenis Sampah	Jenis Tanah	Tata Guna Lahan
A	Tanpa sampah	Lanau Berpasir	Permukiman, tanpa vegetasi
B	Daun kering 100%	Lanau Berpasir	Permukiman, tanpa vegetasi
C	Sampah dapur 100%	Lanau Berpasir	Permukiman, tanpa vegetasi
D	Sampah ikan/daging 100%	Lanau Berpasir	Permukiman, rerumputan
E1	Daun kering 25%, sampah dapur 75%	Lanau Berpasir	Kebun
E2	Daun kering 75%, sampah dapur 25%	Lanau Berpasir	Kebun

E3	Sampah dapur 75%, sampah ikan/daging 25%	Lanau Berpasir	Permukiman, tanpa vegetasi
E4	Sampah dapur 25%, sampah ikan/daging 75%	Lanau Berpasir	Permukiman, tanpa vegetasi
E5	Sampah ikan/daging 25%, daun kering 75%	Lanau Berpasir	Terbuka, rerumputan
E6	Sampah ikan/daging 75%, daun kering 25%	Lanau Berpasir	Terbuka, rerumputan

Pengujian infiltrasi dilakukan pada 10 LRB yang sudah di masukan berbagai jenis sampah yang sudah ditentukan (gambar 2). Kedalaman LRB bervariasi dari 80 - 100cm, walaupun terdapat kesamaan jenis tanah namun pada beberapa titik pada bawah tanah terdapat batuan ataupun akar, sehingga sulit untuk mencapai target kedalaman 100cm. Pengujian dilakukan seminggu 1 kali selama 6 kali untuk mengetahui pengaruh jenis sampah terhadap infiltrasi selama waktu yang sudah ditentukan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.



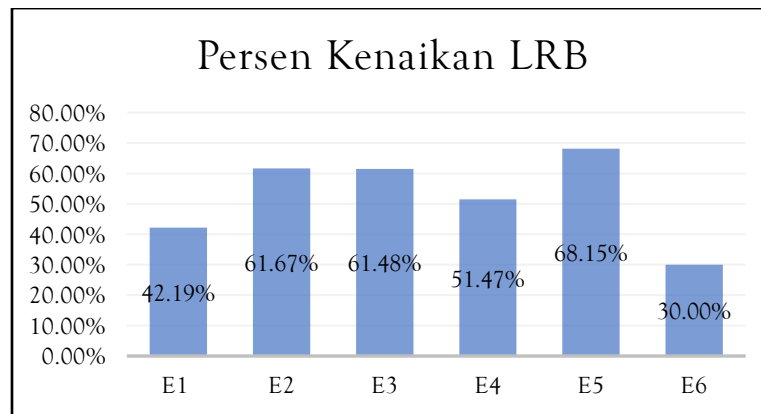
Gambar 2. Pengukuran Infiltrasi Pada Berbagai Karakteristik Sampah

Tabel 4. Hasil Pengujian Infiltrasi

Minggu ke	Laju Infiltrasi (L/menit)									
	LRB ke -									
	A	B	C	D	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	0.341	0.406	0.292	0.322	0.268	0.267	0.278	0.257	0.242	0.335
2	0.327	0.423	0.305	0.336	0.381	0.415	0.450	0.390	0.373	0.374
3	0.348	0.452	0.317	0.373	0.369	0.432	0.422	0.382	0.392	0.406
4	0.332	0.492	0.321	0.384	0.367	0.425	0.413	0.366	0.406	0.415
5	0.332	0.469	0.330	0.381	0.364	0.399	0.343	0.384	0.384	0.435
6	0.346	0.462	0.327	0.384	0.361	0.390	0.314	0.379	0.352	0.423
Maks	0.348	0.492	0.330	0.384	0.381	0.432	0.450	0.390	0.406	0.435
Persen Kenaikan	2.14%	20.97%	12.84%	19.26%	42.19%	61.67%	61.48%	51.47%	68.15%	30.00%

Melihat hasil pengujian diatas (tabel 4), hal pertama yang dapat dianalisis adalah LRB A B C dan D, dimana LRB A tanpa sampah mengalami peningkatan infiltrasi sebanyak 2,14% dalam 3 minggu. LRB B, C, dan D berisikan komposisi sampah 100% sampah tanpa campuran. LRB B dan D mencapai infiltrasi maksimumnya pada minggu ke 4 dengan peningkatan masing-masing adalah 20,97% dan 19,26%, berbeda dengan LRB C yang memerlukan waktu 5 minggu untuk mencapai infiltrasi maksimumnya dengan peningkatan hanya 12,84%. Perbedaan komposisi sampah merupakan faktor utama yang menyebabkan perbedaan yang besar antara LRB B dan C, karena bila dilihat kondisi tata guna lahan, jenis tanah dan vegetasi adalah sama yaitu lempung berpasir, permukiman dan tanpa vegetasi. Berbeda dengan LRB D yang memiliki vegetasi rerumputan.

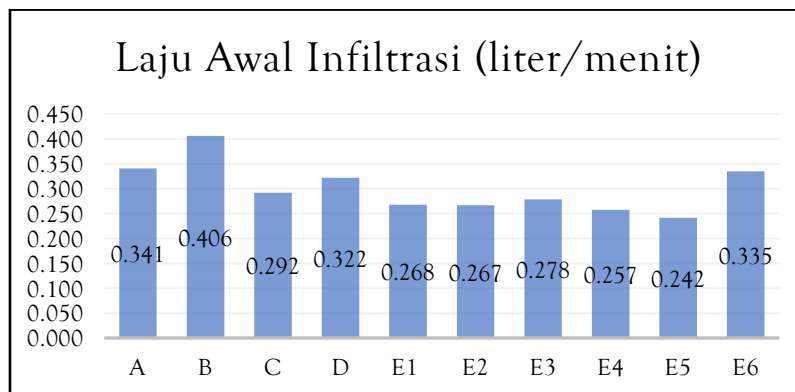
Gambar 3 adalah grafik kenaikan LRB E1 sampai E6, LRB tersebut berisi komposisi variasi sampah dengan rasio 75% dan 25%. Dari grafik tersebut terlihat persentase paling tinggi ada pada E5 (ikan/daging 25% dan daun kering 75%) yaitu 68,15%. Dilihat dari komposisi yang berbeda ada E2 (daun kering 75% dan sampah dapur 25%) yaitu 61,67% dan E3 (sampah dapur 75% dan ikan/daging 25%) yaitu 61,48%. Ada selisih yang sedikit antara E2 dan E3. Perbedaan terjadi karena perbedaan komposisi serta tata guna lahan, dimana E2 adalah kebun dan E3 permukiman tanpa vegetasi.



Gambar 3. Grafik Persen Kenaikan LRB E1 - E6

Secara komposisi, LRB dengan isian daun kering lebih banyak akan meningkatkan nilai infiltrasi yang sangat tinggi, seperti pada lubang E2 dan E5. Sedangkan untuk lubang dengan komposisi ikan/daging 75% dan daun kering 25% seperti pada E6 hanya mengalami peningkatan 30%. Namun peningkatan yang signifikan terjadi pada E5 terjadi dalam 4 minggu, berbeda dengan E1, E3, dan E4 meskipun tidak setinggi E5 namun peningkatan yang maksimal terjadi hanya dalam 2 minggu.

LRB E1 dan E2 berisi daun kering dan sampah dapur, jenis tanah lempung berpasir dan tataguna lahan adalah kebun. Kombinasi komposisi sampah E1 dan E2 ini cocok dengan tataguna lahannya yaitu kebun karena terjadi peningkatan infiltrasi dalam 2 minggu. Sedangkan pada LRB E3 dan E4 yang berisi sampah dapur, sampah ikan/daging dengan tataguna lahan permukiman tanpa vegetasi. Kombinasi sampah E3 dan E4 ini cocok dengan tataguna lahan permukiman karena terjadi peningkatan hanya dalam 2 minggu.



Gambar 4. Laju Awal Infiltrasi LRB

Dari gambar 4 dapat diketahui laju awal infiltrasi pada masing-masing LRB di lokasi penelitian. Laju awal berkisar antara 0,242 - 0,406 liter/menit. Pada beberapa LRB terdapat nilai yang hampir sama, hal ini karena jenis tanah yang sama, adapun perbedaan yg signifikan dikarenakan tataguna lahan yang berbeda seperti lahan yang terbuka, adanya vegetasi, permukiman, dan kebun.

Bila laju infiltrasi dibandingkan dengan intensitas hujan di lokasi penelitian maka laju infiltrasi setelah mengalami kenaikan masih lebih besar dari intensitas curah hujan. Namun masih perlu memperhatikan faktor-faktor lainnya, seperti topografi, luas wilayah tangkapan air hujan, air limpasan, tataguna lahan dan lain-lain.

4. KESIMPULAN

LRB B, C, dan D yang memiliki jenis komposisi sampah 100%. Laju infiltrasi mencapai nilai maksimumnya dalam 3-5 minggu. LRB A 20,97% dan LRB D 19,26% dalam 4 minggu serta LRB C 12,84% dalam 5 minggu. Kombinasi sampah basah dan sampah kering sama-sama menghasilkan laju infiltrasi maksimum yang signifikan namun dalam waktu yang berbeda. Kombinasi yang memiliki komposisi sampah dapur seperti pada LRB E1, E2, E3, dan E4 menghasilkan laju infiltrasi maksimum dalam waktu yang paling cepat yaitu 2-3 minggu. Permukiman tanpa vegetasi menghasilkan peningkatan yang lebih tinggi dalam waktu yang paling singkat. Terlihat pada LRB E3 61,48% dan E4 51,47% dalam 2 minggu. Secara keseluruhan laju infiltrasi

maksimum terjadi pada minggu ke 2 sampai minggu ke 5. Pembusukan terjadi tergantung dari komposisi jenis sampah. Pada komposisi daun kering 100% (LRB B) dan sampah dapur 100% (LRB D) peningkatan maksimum terjadi dalam 2 minggu sebanyak 20,97% dan 19,26%. Pada komposisi campuran, pembusukan paling cepat dan paling berpengaruh terjadi pada LRB E3. Keadaan lingkungan seperti cuaca, jenis tanah, curah hujan, luas wilayah, dan topografi serta faktor lainnya juga dapat berpengaruh terhadap hasil pengujian.

Daftar Pustaka

- Abbas, I.I., Chaaban, J.K. & Shaar, A.A. 2017. Solid Waste Management in Lebanon : Challenges Solid Waste Management in Lebanon : Challenges and Recommendations. (October).
- Ashdak, Chay, (1995), Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press
- Bambang Triatmojo, (2008), Hidrologi Terapan. UGM-Yogyakarta
- Biopori, Tim IPB. 2007. Biopori Teknologi Tepat Guna Ramah Lingkungan- Alat dan Pemesanan Alat. [e-journal]. <http://biopori.com>. (Diakses 30 September 2015).
- Bismi Anisa, (2018), Penerapan Model Horton Untuk Kuantifikasi Laju Infiltrasi. Departemen Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jurnal Saintis Vol. 18, No. 1, April 2018
- Cindy, Abdul, Anthon, (2017), Metode Infiltrasi Pada Berbagai Penggunaan Lahan di Desa Tulo Kecamatan Dolo Kabupaten Sigi. Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako. Jurnal Agrotekbis 5 (3), Juni 2017
- Griya. 2008. Mengenal dan Memanfaatkan Lubang Biopori. [e-journal] <http://kumpulaninfo.com>, (Diakses 30 November 2015)
- Kashid, S.D., Nagne, A.D. & Kale, K. V 2015. Solid Waste Management : Bin Allocation and Relocation By Using Remote Sensing & Geographic Information System. 143-148.
- M. Kusumawardani, (2011), Karakteristik Infiltrasi Tanah Pada Penggunaan Lahan Pertanian di Desa Sukaresmi, Kecamatan Megamendung, Kab. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Sanjaya, Wiliam., Christian, Kevin Billy., Gunaran, Danny., Budirahardjo, Elly Kusumawati. 2017. Pengukuran Laju Infiltrasi Lubang Resapan Biopori Dengan Pemilihan Jenis Dan Komposisi Sampah Di Kampus 1 Ukrida Tanjung Duren Jakarta. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Kristen Krida Wacana, Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, Vol. 06 No. 22, Apr - Jun 2017
- Seyhan, Ersin, (1990), Dasar-dasar Hidrologi, Gajah Mada University Press
- Sosrodarsono, S., (1993), Hidrologi Untuk Pengairan, Jakarta: PT. Pradya Paramita
- S. H. Brotowiryatmo, (1993), Analisis Hidrologi. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- SNI 7752:2012, (2012), Tata Cara Pengukuran Laju Infiltrasi Tanah di Lapangan Menggunakan Infiltrometer Cincin Ganda. Badan Standardisasi Nasional Indonesia
- SNI, 19-3983-1995. Spesifikasi Timbulan Sampah Untuk Kota Kecil Dan Sedang Di Indonesia. Badan Standardisasi nasional Indonesia
- SNI 19-2454-2002, 2002. Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan. Pengarang. Badan Standardisasi nasional Indonesia
- Sudarmanto, Buchori, Sudarno, (2013), Perbandingan Infiltrasi Lahan Terhadap Karakteristik Fisik Tanah, Kondisi Penutupan Tanah, dan Kondisi Tegakan Pohon Pada Berbagai Jenis Pemanfaatan Lahan. Magister Ilmu Lingkungan, UNDIP, Semarang. Jurnal Geografi
- Sudiby, H., Majid, A.I., Pradana, Y.S., Budhijanto, W., Deendarlianto & Budiman, A. 2017. Technological Evaluation of Municipal Solid Waste Management System in Indonesia. Energy Procedia, 105(May): 263-269. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.312>.
- Tchobanoglous, George, Theisen, Hilary, Virgil, 1993, Integrated Solid Waste Management, Mc Graw-Hill, Singapore
- Todd, David K, (2005), Groundwater Hydrogeology, University of California