

**PERUBAHAN KARAKTERISTIK HIDROGRAF ALIRAN SUNGAI SETELAH
PENEANGAN TANAMAN *Eucalyptus pellita* F. Muell**

***Changes in the Characteristics of After Logging Streamflow Hydrograph of
Eucalyptus pellita F. Muell Stands***

Agung Budi Supangat*

Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai
Jl. Jend. A. Yani - Pabelan, Kartasura PO BOX 295 Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57102
Telp. +62 271716709, Fax. +62 271716959

Article Info

Article History:

Received 27 January 2016;
received in revised form 17
November 2016; accepted 20
December 2016.

Available online since 31
March 2017

Kata kunci:

Tanaman *E. pellita*
Tebang habis
Hidrograf aliran

ABSTRAK

Pembangunan skala luas hutan tanaman *Eucalyptus pellita* F. Muell di Provinsi Riau dengan menerapkan sistem silvikultur tebang habis pada jenis tanaman cepat tumbuh, disinyalir berdampak pada berubahnya fungsi hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan karakteristik hidrograf aliran sungai setelah penebangan tanaman *E. pellita*. Penelitian dilaksanakan di kawasan hutan tanaman *E. pellita* pada satuan pengamatan DAS Mikro seluas 4,62 ha di Perawang, Provinsi Riau. Teknik yang digunakan adalah analisis hidrograf satuan terhadap data terpilih hidrograf banjir. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penebangan dengan sistem tebang habis menyebabkan peningkatan debit puncak banjir dari rata-rata 0,226 m³/dt menjadi 0,322 m³/dt, memperpendek waktu dasar pada hidrograf aliran dari rata-rata 143 menit menjadi 90 menit, mempercepat waktu mencapai puncak banjir dari rata-rata 80 menit menjadi 40 menit, serta menurunkan aliran dasar rata-rata dari 0,0056 m³/dt menjadi 0,0032 m³/dt.

Keywords:

E. pellita forest stand
Clear cutting
Hydrograph

ABSTRACT

The wide scale development of *Eucalyptus pellita* F. Muell plantation in Riau Province applying the clear cutting silvicultural system on fast-growing tree species allegedly have an impact on the changing of watershed hydrological functions. The aim of this study was to determine the changes in the characteristics of after logging stream flow hydrograph of *E. pellita* forest stand. The research was carried out in *E. pellita* plantations in Perawang, Riau Province using 4.62 ha of micro-catchment as an observation unit. The method used is the analysis of hydrograph units on chosen data of flood hydrograph. The research concludes that clear-cutting system has led to increasing the peak flow discharge from an average of 0.226 m³.s⁻¹ to be 0.322 m³.s⁻¹, shortening the time base of hydrograph from an average of 143 minutes to be 90 minutes, shortening the time to peak flow from an average of 80 minutes to be 40 minutes, as well as declining the base flow from an average of 0.0056 m³.s⁻¹ to be 0.0032 m³.s⁻¹.

* Corresponding author. Tel.: +62 8122618567
E-mail address: maz_goenk@yahoo.com (A.B. Supangat)

I. PENDAHULUAN

Pembangunan hutan tanaman di Indonesia selain ditujukan untuk memasok kebutuhan bahan baku industri per kayu, juga diharapkan dapat menjadi upaya rehabilitasi hutan dan lahan. Hal tersebut didasari bahwa tutupan hutan mempunyai kemampuan yang relatif lebih baik dalam menjaga fungsi ekologis, dibandingkan jenis tutupan lainnya, salah satunya sebagai pengatur tata air (Asdak, 2002; Chang, 2002). Hutan merupakan sistem pengatur dan berfungsi efektif dalam melindungi permukaan tanah dari energi kinetis hujan, menyimpan dan menahan kelebihan hujan agar tetap berada di tanah lapisan permukaan, mengendalikan laju limpasan permukaan (*runoff*), maupun melindungi tanah dari bahaya erosi (Fukuyama *et al.*, 2010; Mohammad & Adam, 2010; Alidoust *et al.*, 2012; Neris *et al.*, 2013; Cao *et al.*, 2015).

Kegiatan pembangunan hutan tanaman biasanya dilakukan pada lahan-lahan marginal, semak belukar atau hutan sekunder, dan menggunakan jenis-jenis tanaman cepat tumbuh (*fast growing species*). Sifat tanaman ini pada umumnya memiliki persyaratan tumbuh yang mudah, namun bersifat boros terhadap air dan unsur hara (McKay, 2011; Pudjiono & Baskorowati, 2012). Pada kawasan hutan tanaman, terdapat fase-fase pengelolaan mulai dari penyiapan lahan, penanaman sampai penebangan yang merupakan kegiatan silvikultur. Di antara fase pengelolaan tersebut, terdapat fase yang kondisi hutan menjadi terbuka dan rawan mengalami degradasi, seperti pada saat pemanenan yang dilakukan dengan sistem tebang habis (*clear cutting*) (Li *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2011). Pada fase-fase tersebut disinyalir akan terjadi peningkatan besaran limpasan permukaan yang berdampak pada perubahan karakteristik aliran sungai (McKay, 2011; Khanal & Parajuli, 2013).

Penelitian-penelitian terkait perubahan lahan hutan menjadi penggunaan lahan lainnya serta dampaknya terhadap fungsi hidrologis telah banyak dilakukan. Di antara hasil-hasil penelitian tersebut adalah dampak pembukaan hutan dalam meningkatkan hasil air untuk kurun waktu tertentu (Pudjiharta, 2008; Nobrega *et al.*, 2010; Zegree, 2011; Khanal & Parajuli, 2013), meningkatkan erosi dan sedimentasi di badan air (Hidayat *et al.*, 2008; Khanal & Parajuli, 2013), menurunkan kualitas air sungai (Palmer, 2011; Kastendick *et al.*, 2012; Kebede *et al.*, 2014), serta memengaruhi karakteristik hidrograf aliran (Wenjie *et al.*, 2011; Kuras *et al.*, 2012; Suryatmojo *et al.*, 2013).

Salah satu jenis tanaman cepat tumbuh yang banyak dikembangkan di Provinsi Riau adalah jenis *Eucalyptus pellita*, sebagai jenis kayu

penghasil pulp untuk industri kertas. Sebagai salah satu jenis tanaman unggulan selain *Acacia mangium*, praktek pengelolaan Hutan Tanaman Industri (HTI) jenis *E. pellita* tidak terlepas dari sorotan para aktivis lingkungan, karena diduga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kondisi hidrologi (tata air). Penanaman tanaman ini dalam skala luas dan telah memasuki rotasi ke-empat, diduga ikut berkontribusi pada fenomena kekeringan di beberapa wilayah Riau bagian hilir. Namun demikian, sejauh ini anggapan tersebut tidak disertai dengan data yang memadai serta justifikasi ilmiah yang kuat.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan informasi dampak hidrologis DAS akibat penebangan hutan tanaman *E. pellita*, khususnya di Propinsi Riau. Salah satu parameter hidrologis DAS yang penting adalah hidrograf aliran sungai. Hidrograf aliran dapat menggambarkan suatu distribusi waktu dari aliran permukaan di suatu tempat pengukuran dan menentukan keanekaragaman karakteristik fisik DAS. Beberapa faktor yang memengaruhi hidrograf aliran antara lain adalah faktor hujan (jumlah, intensitas, distribusi dan durasi hujan), serta faktor fisik permukaan lahan yaitu karakteristik morfometri DAS (Sri Harto, 1993). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik hidrograf aliran sungai karena aktivitas penebangan tanaman *E. pellita*.

Metode yang digunakan adalah analisis hidrograf satuan tinggi muka air (TMA) sungai berbasis kejadian hujan (*rainfall event*). Analisis dilakukan pada waktu kejadian hujan/banjir sebelum dan setelah penebangan, untuk mengetahui perubahan karakteristik aliran sungai sebagai respon tutupan lahan hutan terhadap input air hujan.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

Penelitian pengamatan debit dan analisis hidrograf aliran dilaksanakan pada tahun 2011-2012. Penebangan tanaman *E. pellita* dengan sistem tebang habis di dalam DAS mikro dilakukan pada Bulan Maret 2012, sehingga data hidrograf aliran meliputi fase sebelum dan setelah adanya aktivitas penebangan.

Lokasi penelitian berada di kawasan hutan tanaman *E. pellita* di areal kerja HPHTI PT. Arara Abadi Perawang, Propinsi Riau, khususnya di Distrik Rasau Kuning, Area Minas (Gambar 1.). Secara geografis lokasi penelitian berada pada 00° 41,656' sampai 00° 45,361' LU dan 101° 34,657' sampai 101° 36,384' BT. Satuan unit pengamatan berupa DAS mikro dengan ukuran luas 4,62 ha, berada pada petak 175-B., berisi tanaman *E. pellita* yang ditanam pada bulan Mei

2006. Karakteristik morfometri mikro DAS disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan klasifikasi Schmidt-Ferguson, lokasi penelitian memiliki tipe iklim A, dengan curah hujan tahunan rata-rata 2.456 mm/th, suhu udara harian rata-rata sebesar 27,7°C, serta

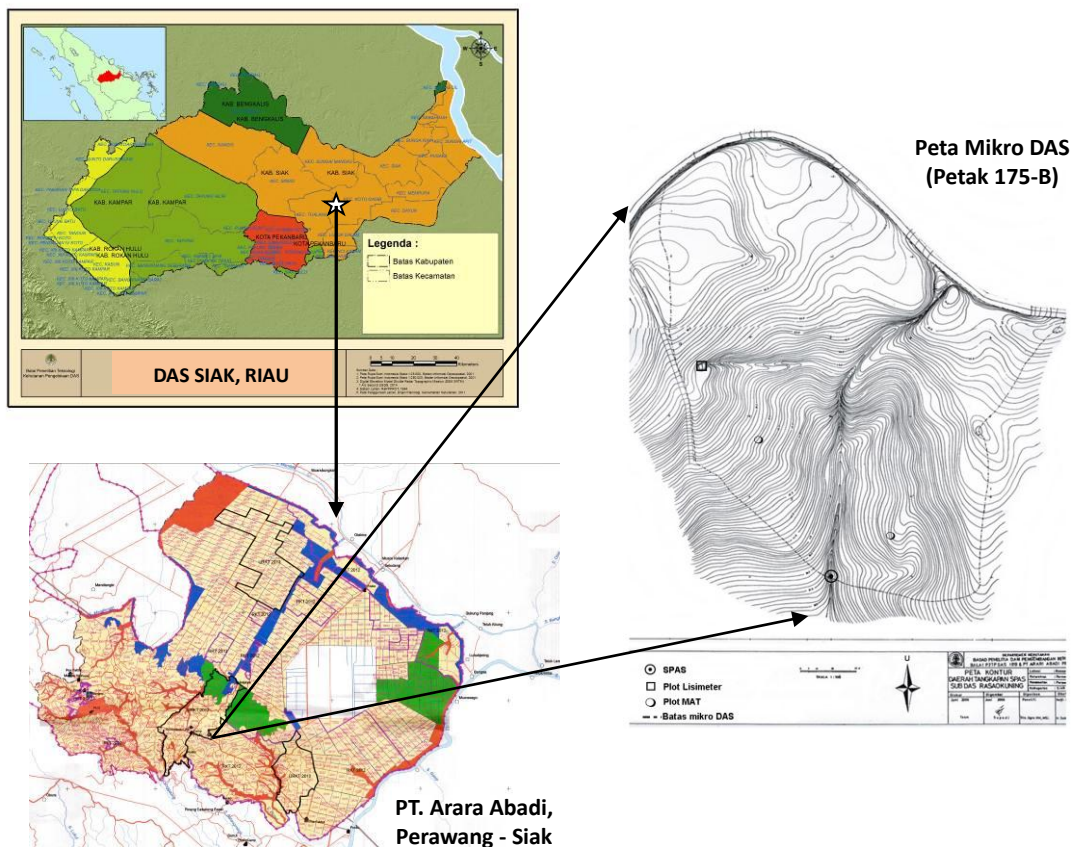
kelembapan udara harian rata-rata sebesar 68,7 %. Jenis tanah di lokasi penelitian adalah Ultisols (Podsolik Merah Kuning), dengan kelas tekstur tanah geluh pasir (*sandy loam*) sampai geluh lempung pasir (*sandy clay loam*) (Supangat *et al.*, 2010).

Tabel 1. Parameter Morfometri Mikro DAS
Table 1. Morphometric parameters of micro-catchment

No.	Parameter Morfometri (Morphometric parameters)	Nilai (Value)
1.	Luas (Area) (ha)	4,62
2.	Rata-rata slope DAS (Average catchment slope) (%)	20,0
3.	Rata-rata slope sungai (Average stream slope) (%)	18,5
4.	Panjang DAS (Catchment length) (m)	283,0
5.	Lebar DAS (Catchment width) (m)	195,0
6.	Rata-rata elevasi DAS (Average catchment altitude) (m.dpl)	49,0
7.	Panjang sungai utama (Main river length) (m)	236,0
8.	Panjang jalur limpasan (Flow length) (m)	97,8
9.	Keliling DAS (Perimeter catchment) (m)	855,0
10.	Circularity ratio	0,79
11.	Lemniscate constant	1,73
12.	Faktor bentuk (Catchment shape coefficient)	0,83

Sumber: Hasil perhitungan

Source: The calculation results



Gambar 1. Lokasi penelitian.
Figure 1. Research location.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hidrograf aliran dari satuan mikro DAS di lahan hutan tanaman *E. pellita*. Peralatan penelitian meliputi alat pengukur curah hujan manual (ombrometer), alat pengukur tinggi muka air (TMA) sungai secara otomatis tipe HOB0 U20 *Water Level Data Recorder*, serta alat tulis kantor.

C. Tahapan Pelaksanaan/Rancangan Penelitian

Data yang dikumpulkan meliputi curah hujan harian serta tinggi muka air (TMA) sungai yang terekam melalui alat otomatis *water level logger*. Model penampang melintang sungai menggunakan modifikasi gabungan model Cipolletti dan V-notch weir sudut 90°. Pada TMA 0 – 20 cm air melimpah melalui V-notch weir, sedangkan pada

TMA 21 cm ke atas air sungai melimpah melalui Cipolletti weir.

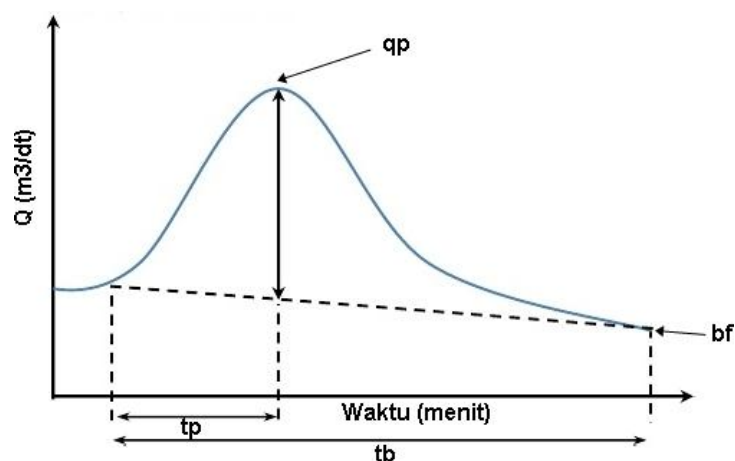
Pasangan data curah hujan dan hidrograf TMA banjir dipilih pada fase sebelum dan setelah dilakukan penebangan, masing-masing 4 ulangan yang berbeda ketebalan curah hujannya. Untuk memudahkan analisis hidrograf satuan, data banjir yang dipilih adalah kejadian banjir tunggal yang diakibatkan hujan tunggal dalam sehari. Tanggal kejadian banjir dan curah hujan sebelum dan sesudah penebangan disajikan pada Tabel 2.

Parameter hidrograf banjir yang diamati meliputi waktu dasar (tb), waktu mencapai puncak banjir (tp), debit puncak banjir (qp) dan debit aliran dasar rata-rata (bf). Bentuk sederhana hidrograf aliran disajikan pada Gambar 2.

Tabel 2. Tanggal kejadian banjir terpilih dan curah hujan sebelum dan setelah penebangan tanaman *E. pellita*

Table 2. The date of selected flood events and rainfall before and after logging of *E. pellita* trees

No.	Sebelum Penebangan (Before logging)		Setelah Penebangan (After logging)	
	Tanggal (Date)	P (Rainfall) (mm)	Tanggal (Date)	P (Rainfall) (mm)
1.	15 Oktober 2011	44,2	23 Maret 2012	46,8
2.	27 Mei 2011	51,6	10 Juli 2012	50,2
3.	7 Agustus 2011	60,0	21 Agustus 2012	60,2
4.	13 Januari 2012	74,3	22 Mei 2012	76,6
	Rata-rata (Average)	57,5		58,5



Gambar 2. Bentuk hidrograf aliran sungai.
Figure 2. Shape of river water level hydrograph.

Keterangan:

- Debit puncak (qp) adalah debit maksimum yang terjadi dalam kejadian hujan tertentu
- Waktu dasar (tb) adalah waktu yang diukur saat hidrograf mulai naik sampai waktu debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan;
- Waktu mencapai puncak (tp) adalah waktu yang diukur saat hidrograf mulai naik sampai waktu debit mencapai nilai maksimum.

D. Analisis Data

Besarnya debit aliran dihitung dengan menggunakan persamaan regresi yang terbangun, yaitu hubungan antara TMA (H) dan debit (Q) atau *stage-discharge rating curve*, yaitu: $Q = a H^b$. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan oleh Supangat *et al.* (2008), diperoleh dua persamaan debit, yaitu model penampang V-notch weir ($H \leq 20$ cm) dan penampang Cipolletti ($H > 20$ cm), sebagai berikut:

$$Q = 1,3096 \cdot H^{2,4711} \text{ untuk } H \leq 20 \text{ cm}$$

$$Q = 0,0245 + [1,8569 \cdot (H-0,2)^{1,4996}] \text{ untuk } H > 20 \text{ cm}$$

Keterangan: Q = debit (m³/dt)
H = tinggi muka air (TMA) (m)

Pengolahan data dilakukan terhadap grafik hidrograf tinggi muka air pada kejadian hujan terpilih, untuk mendapatkan nilai-nilai parameter hidrograf banjir. Pemisahan aliran dasar dilakukan dengan metode garis lurus (*Straight line method*) (Sri Harto, 1993).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil perhitungan hidrograf satuan pada kejadian banjir sebelum dan sesudah dilakukan kegiatan penebangan disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, dari ulangan 4 kejadian hujan dengan input curah hujan berkisar antara 45mm sampai 75mm, terlihat perubahan karakteristik hidrograf aliran baik untuk

parameter waktu dasar, waktu mencapai puncak serta debit puncak yang terjadi.

B. Pembahasan

Kegiatan penebangan tanaman *E. pellita* berpengaruh terhadap perubahan karakteristik aliran (hidrograf aliran) sungai. Akibat aktivitas tebang habis, telah menyebabkan semakin pendek waktu dasar hidrograf aliran, yaitu dari rata-rata 143 menit menjadi 90 menit, sedangkan waktu mencapai puncak debit justru semakin cepat, yaitu dari rata-rata 80 menit menjadi 40 menit. Debit puncak yang dihasilkan akibat penebangan juga lebih tinggi dibandingkan sebelum penebangan, dari rata-rata 0,226 m³/dt menjadi 0,322 m³/dt (meningkat sebesar 42,5% atau 1,4 kali). Aliran dasar rata-rata juga mengalami penurunan dari 0,0056 m³/dt menjadi rata-rata 0,0032 m³/dt (menurun sebesar 42,9%). Bentuk hidrograf aliran sungai masing-masing pasangan kejadian hujan disajikan pada Gambar 3.

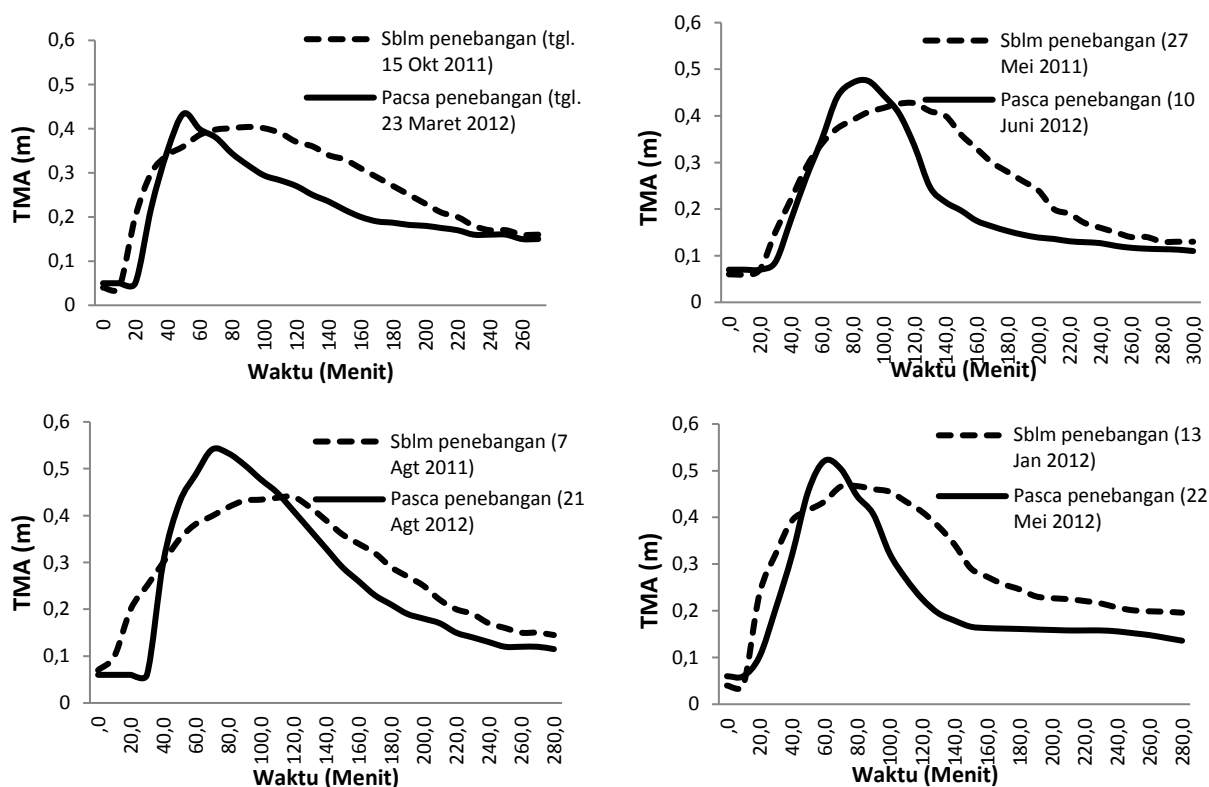
Berdasarkan Gambar 3 terlihat kurva kenaikan TMA pada fase setelah penebangan yang lebih miring dibandingkan sebelum penebangan. Hal tersebut menunjukkan respon DAS yang lebih buruk pada fase setelah penebangan, karena hujan yang turun cepat dialihragamkan menjadi limpasan langsung. Demikian juga dengan penurunan TMA setelah puncak banjir (qp) atau kurva resesi hidrograf satuan setelah penebangan terlihat lebih cepat dibandingkan setelah penebangan. Hal tersebut menunjukkan adanya peran vegetasi hutan dalam mengendalikan kontinuitas aliran, yang ditunjukkan oleh besarnya waktu dasar (tb) yang lebih panjang pada hidrograf aliran sebelum penebangan.

Tabel 3. Karakteristik aliran sebelum dan setelah penebangan tanaman *E. pellita*
Table 3. Hydrograph characteristics at before and after harvesting of *E. pellita* trees

Kejadian hujan (Rainfall event)	P (mm)	tb (menit)	tp (menit)	TMA qp (m)	Qp (m ³ /dt)	TMA bf (m)	bf (m ³ /dt)
Sebelum Penebangan (Before harvesting)							
15 Oktober 2011	44,2	140	70	0,394	0,183	0,11	0,0056
27 Mei 2011	51,6	160	90	0,427	0,225	0,09	0,0034
7 Agustus 2011	60,0	150	100	0,440	0,243	0,09	0,0034
13 Januari 2012	74,3	120	60	0,447	0,253	0,15	0,0121
Rata-rata (Average)	57,5	143	80	0,427	0,226	0,11	0,0056
Setelah Penebangan (After harvesting)							
23 Maret 2012	46,8	80	20	0,434	0,235	0,11	0,0056
10 Juli 2012	50,2	100	60	0,475	0,292	0,07	0,0018
21 Agustus 2012	60,2	80	40	0,543	0,398	0,08	0,0026
22 Mei 2012	76,6	100	40	0,521	0,362	0,09	0,0034
Rata-rata (Average)	58,5	90	40	0,493	0,322	0,09	0,0032

Keterangan: P (tebal hujan), tb (waktu dasar), tp (waktu mencapai puncak), qp (debit puncak), bf (aliran dasar), TMA (tinggi muka air sungai).

Remarks: P (Number of rainfall), tb (Timebase), tp (Time to peak), qp (Peak flow), bf (Base flow), TMA (River water level).



Gambar 3. Hidrograf muka air sungai pasangan kejadian hujan sebelum dan setelah penebangan hutan tanaman *E. pellita*.

Figure 3. Water level hydrograph at before and after logging of *E. pellita* trees.

Peningkatan debit puncak banjir akibat penebangan juga disarikan oleh hasil penelitian lain. Hasil penelitian Kuras *et al.* (2012) mengatakan bahwa penebangan seluas 50% pada tanaman *P. contorta* di Kanada telah meningkatkan debit puncak (*peak flow*) sebesar 9-25% dibandingkan kontrol, sedangkan frekuensi kejadian debit puncak meningkat 5 - 6,7 kali. Hasil penelitian (Wenjie *et al.*, 2011) juga menyimpulkan bahwa konversi hutan alam menjadi kebun karet meningkatkan debit puncak, yaitu dari proporsi debit puncak terhadap total aliran sebesar 29% naik menjadi 62% (naik 113,7%) dan dari proporsi 31% naik menjadi 69% (naik 122,6%).

Peningkatan debit puncak akibat penebangan hutan akan semakin menurun secara logaritmik seiring pertumbuhan vegetasi/tanaman, dan lama kelamaan akan mencapai titik nol (peningkatan tidak signifikan) (Zegree, 2011; Kuras *et al.*, 2012; Shamsuddin *et al.*, 2014). Secara teoritis, kecuali debit puncak, semua parameter hidrograf aliran (waktu dasar; waktu mencapai puncak serta waktu resesi) akan kembali ke level sebelum penebangan, seiring peningkatan penggunaan air oleh pertumbuhan tanaman. Debit puncak

menjadi pengecualian jika terjadi pembukaan jalan pada kegiatan penebangan hutan, yang akan menghasilkan peningkatan secara permanen laju aliran permukaan (*surface runoff*) yang akan mengisi aliran sungai (Kuras *et al.*, 2012).

Peningkatan debit puncak terjadi akibat penurunan kapasitas infiltrasi tanah akibat perubahan penutupan lahan. Hasil penelitian sebelumnya di lokasi yang sama (Supangat *et al.*, 2008), menyebutkan nilai kapasitas infiltrasi tanah pada tanaman umur 5 tahun sebesar 14,17 cm/jam, sedangkan pada tanaman muda (1 tahun) hanya sebesar 1,85 cm/jam. (Chang, 2002) menambahkan bahwa curah hujan yang meningkat akan berpengaruh pada debit banjir akibat berkurangnya tutupan hutan.

Besar-kecilnya pengaruh perubahan karakteristik aliran akibat aktivitas penebangan hutan juga berkaitan kondisi tanah yang ada. Jenis tanah beserta karakteristik fisiknya berperan dalam proses alih ragam dari air hujan sampai menjadi aliran sungai (Kuenene *et al.*, 2011; Kabeya *et al.*, 2014; Meyerhoff *et al.*, 2014). Di lokasi penelitian, keberadaan tanah Ultisols bersifat rentan mengalami degradasi ketika dalam kondisi terbuka akibat aktivitas penebangan.

Wang *et al.* (2013) menyebutkan bahwa tanah Ultisols relatif cepat mengalami abrasi agregat jika terkena air seperti aliran permukaan, dan dapat memicu peningkatan erosi tanah permukaan. Lebih jauh dalam sistem DAS, kondisi tersebut akan meningkatkan debit puncak pada kejadian hujan besar. Truman *et al.* (2011) mengatakan dari hasil penelitiannya bahwa tanah Ultisols dengan tekstur pasir lempungan (*loamy sands*) dalam kondisi terbuka cepat mengalami penjujukan air (peningkatan *antecedent water content*, AWC), dan dapat memicu peningkatan *runoff* sampai 60%. Birkinshaw *et al.* (2011) menginformasikan adanya pengaruh kedalaman tanah terhadap debit pada perlakuan penebangan hutan. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pada tanah-tanah dangkal, debit yang dihasilkan tidak terlalu berbeda antara lokasi tebangan dan yang tidak tebangan. Sebaliknya, semakin dalam tanah maka debit yang dihasilkan kedua lokasi perlakuan semakin berbeda.

Secara alami, ada beberapa faktor morfometri DAS yang berperan dalam memengaruhi bentuk hidrograf aliran yang dihasilkan (Romshoo *et al.*, 2012; Supangat, 2012; Bilewu *et al.*, 2015). Bentuk DAS yang cenderung bulat (Gambar 1) ditunjukkan oleh besaran nilai parameter morfometri DAS seperti *lemniscate constant* (lc), *circularity ratio* (cr) maupun faktor bentuk (F) (Tabel 1). Nilai ketiga parameter tersebut menggambarkan bentuk DAS yang cenderung bulat, ditambah oleh adanya pola aliran yang radial, sehingga menyebabkan grafik aliran (hidrograf) cenderung terjal terutama pada kurva naik (Romshoo *et al.*, 2012; Sreedevi *et al.*, 2013). Pada kondisi tersebut, jika terjadi hujan maka air sungai akan cepat naik (banjir) karena *time to peak* (tp) pada bentuk DAS bulat relatif pendek (Supangat, 2012; Sreedevi *et al.*, 2013). Dampak yang terjadi pada tanah Ultisols, jika kondisinya terbuka (akibat penebangan) akan cepat mengalami jenuh air dan terjadi banjir dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan pada saat ada tanaman hutan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penebangan dengan sistem tebang habis pada hutan tanaman *E. pellita* telah menyebabkan perubahan karakteristik hidrograf aliran sungai. Beberapa parameter hidrograf yang mengalami peningkatan adalah volume debit puncak banjir dan waktu mencapai puncak banjir. Adapun parameter yang mengalami penurunan adalah waktu dasar pada hidrograf aliran serta volume aliran dasar rata-rata.

B. Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji pengaruh penebangan terhadap

perubahan karakteristik aliran dalam jangka yang lebih panjang, misalnya dalam satu rotasi tanaman atau lebih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada institusi Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS (BPPTPDAS) Solo dan Balai Penelitian Hutan Penghasil Serat (BPHPS) Kuok atas dukungan penganggaran penelitian, teknisi litkayasa Kosasih dan tenaga pendamping dari PT. Arara Abadi-Perawang Riau (Bpk. Betrizal Afni), atas segala bantuan selama kegiatan penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alidoust, M., Zahedi, S. S., & Pornasrollah, M. (2012). Iran The Role of Plant Cover (Forest) in Decreasing Runoff in North of Iran (Polrud basin). *Int. J. Forest, Soil and Erosion*, 2(4), 163–164.
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bilewu, S. O., Sule, B., & Ayanshola, A. (2015). Optimum Parameter Selection for the Morphometric Description of Watersheds: a Case Study of Central Nigeria. *Journal of Ecological Engineering*, 16(4), 29–35. doi:10.12911/22998993/59344
- Birkinshaw, S., Bathurst, J. C., Iroumé, A., & Palacios, H. (2011). The effect of forest cover on peakflow and sediment discharge-an integrated field and modelling study in central-southern Chile. *Hydrological Processes*, 25(8), 1284–1297. doi:10.1002/hyp.7900
- Cao, L., Liang, Y., Wang, Y., & Lu, H. (2015). Runoff and soil loss from Pinus massoniana forest in southern China after simulated rainfall. *CATENA*, 129(Jun2015), 1–8. doi:10.1016/j.catena.2015.02.009.
- Chang, M. (2002). *Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests* (1st ed., p. 373). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., ... Tsubonuma, N. (2010). Quantifying the impact of forest management practice on the runoff of the surface-derived suspended sediment using fallout radionuclides. *Hydrological Processes*, 24(5), 596–607. doi:10.1002/hyp.7554.
- Hidayat, Y., Sinukaban, N., Pawitan, H., & Tarigan, S. (2008). Dampak Perambahan Hutan terhadap Aliran Permukaan dan Erosi di DAS Nopu Hulu, Sulawesi Tengah. *J. Tanah Trop*, 13(1), 59–65.
- Kabeya, N., Shimizu, A., Zhang, J.-J., & Nobuhiro, T. (2014). Effect of Hydrograph Separation on Suspended Sediment Concentration Predictions in a Forested Headwater with Thick Soil and

- Weathered Gneiss Layers. *Water*, 6(6), 1671–1684. doi:10.3390/w6061671
- Kastendick, D. N., Zenner, E. K., Palik, B. J., Kolka, R. K., & Blinn, C. R. (2012). Effects of harvesting on nitrogen and phosphorus availability in riparian management zone soils in Minnesota, USA. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 42(10), 1784–1791. doi:10.1139/x2012-127
- Kebede, W., Tefera, M., Habitamu, T., & Alemayehu, T. (2014). Impact of Land Cover Change on Water Quality and Stream Flow in Lake Hawassa Watershed of Ethiopia. *Agricultural Sciences*, 5(July), 647–659. doi:dx.doi.org/10.4236/as.2014.58068
- Khanal, S., & Parajuli, P. B. (2013). Evaluating the Impacts of Forest Clear Cutting on Water and Sediment Yields Using SWAT in Mississippi. *Journal of Water Resource and Protection*, 05(04), 474–483. doi:10.4236/jwarp.2013.54047
- Kuenene, B. T., Huyssteen, C. W. V., Roux, P. A. L. L., & Hensley, M. (2011). Facilitating Interpretation of The Cathedral Peak VI Catchment Hydrograph Using Soil Drainage Curves, 114(3-4), 525–534. doi:10.2113/gssajl
- Kuras, P. K., Alila, Y., & Weiler, M. (2012). Forest harvesting effects on the magnitude and frequency of peak flows can increase with return period. *Water Resources Research*, 48(1), 1–20. doi:10.1029/2011WR010705
- Li, T. J., Wang, G. Q., Huang, Y. F., & Fu, X. D. (2009). Modeling the process of hillslope soil erosion in the loess plateau. *Journal of Environmental Informatics*, 14(1), 1–10.
- McKay, H. (2011). *Short Rotation Forestry: Review of growth and environmental impact. Forest Research Monograph*, 2 (p. 212). Retrieved from [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FRMG002_Short_rotation_forestry.pdf/\\$FILE/FRMG002_Short_rotation_forestry.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FRMG002_Short_rotation_forestry.pdf/$FILE/FRMG002_Short_rotation_forestry.pdf)
- Meyerhoff, S. B., Maxwell, R. M., Graham, W. D., & Williams, J. L. (2014). Improved hydrograph prediction through subsurface characterization: conditional stochastic hillslope simulations. *Hydrogeology Journal*, 22(6), 1329–1343. doi:10.1007/s10040-014-1112-6
- Mohammad, A. G., & Adam, M. A. (2010). The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *CATENA*, 81(2), 97–103. doi:10.1016/j.catena.2010.01.008.
- Neris, J., Tejedor, M., Rodríguez, M., Fuentes, J., & Jiménez, C. (2013). Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife (Canary Islands, Spain). *CATENA*, 108(Sep2013), 50–57. doi:10.1016/j.catena.2012.04.011.
- Nobrega, R., Souza, E., & Souza, F. (2010). The Impact of Changes in Land Cover on Water Resources in The Western Amazon. *Journal of Environmental Hydrology*, 18(Oktober), 1–16.
- Palmer, A. R. (2011). *Natural Variation and Short-term Impact of Aspen Harvesting on Surface Stream Chemistry in the Boreal Plains* (p. 112). Thesis of Master of Science, Department of Biological Sciences. The University of Alberta.
- Pudjiharta, A. (2008). Pengaruh pengelolaan hutan pada hidrologi. *InfoHutan*, V(2), 141–150.
- Pudjiono, S., & Baskorowati, L. (2012). Pembangunan populasi pemuliaan tanaman hutan. In A. Nirsatmanto & Nurtjahjaningsih (Eds.), *Bunga Rampai: Status Penelitian Pemuliaan Tanaman Hutan di BBPBPTH*. Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan. Yogyakarta.
- Romshoo, S. A., Bhat, S. A., & Rashid, I. (2012). Geoinformatics for assessing the morphometric control on hydrological response at watershed scale in the Upper Indus Basin. *J. Earth Syst. Sci.*, 121(3), 659–686.
- Shamsuddin, S. A., Yusop, Z., & Noguchi, S. (2014). Influence of Plantation Establishment on Discharge Characteristics in a Small Catchment of Tropical Forest. *International Journal of Forestry Research*, 2014, 1–10. doi:10.1155/2014/408409
- Sreedevi, P. D., Sreekanth, P. D., Khan, H. H., & Ahmed, S. (2013). Drainage morphometry and its influence on hydrology in an semi arid region : using SRTM data and GIS. *Environ Earth Sci*, 70(2013), 839–848. doi:10.1007/s12665-012-2172-3
- Sri Harto, B. (1993). *Analisis Hidrologi* (p. 324). Jakarta: PT. Gramedia.
- Supangat, A. B. (2012). Karakteristik hidrologi berdasarkan parameter morfometri DAS di kawasan Taman Nasional Meru Betiri. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 9(3), 275–283.
- Supangat, A. B., Junaedi, A., Kosasih, & Irwan. (2010). *Kajian dampak penanaman jenis penghasil kayu pulp terhadap tata dan kualitas air*. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Hutan Penghasil Serat. Badan Litbang Kehutanan. Kuok, Riau. (tidak dipublikasikan).
- Supangat, A. B., Junaedi, A., Kosasih, & Nasrun. (2008). *Kajian tata air hutan Acacia mangium dan Eucalyptus pellita*. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Hutan Penghasil Serat. Badan Litbang Kehutanan. Kuok, Riau. (tidak dipublikasikan).
- Suryatmojo, H., Masamitsu, F., Kosugi, K., & Mizuyama, T. (2013). Effects of Selective Logging Methods on Runoff Characteristics in Paired Small Headwater Catchment. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 221–229. doi:10.1016/j.proenv.2013.02.032
- Truman, C. C., Potter, T. L., Nuti, R. C., Franklin, D. H., & Bosch, D. D. (2011). Antecedent water content effects on runoff and sediment yields from two Coastal Plain Ultisols. *Agricultural Water Management*, 98(8), 1189–1196. doi:10.1016/j.agwat.2011.03.001

- Wang, J.-G., Li, Z.-X., Cai, C.-F., Yang, W., Ma, R.-M., & Zhang, G.-B. (2013). Effects of stability, transport distance and two hydraulic parameters on aggregate abrasion of Ultisols in overland flow. *Soil & Tillage Research*, 126(Jan2013), 134–142. doi:10.1016/j.still.2012.09.005
- Wenjie, L., Wenyao, L., Hongjian, L., Wenping, D., & Hongmei, L. (2011). Runoff generation in small catchments under a native rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, southwestern China. *Water and Environment Journal*, 25(1), 138–147. doi:10.1111/j.1747-6593.2009.00211.x
- Wu, X., Brüggemann, N., Gasche, R., Papen, H., Willibald, G., & Butterbach-Bahl, K. (2011). Long-term effects of clear-cutting and selective cutting on soil methane fluxes in a temperate spruce forest in Southern Germany. *Environmental Pollution*, 159(10), 2467–2475. doi:10.1016/j.envpol.2011.06.025
- Zegree, N. (2011). Evaluating the hydrologic effects of forest harvesting and regrowth using a simple rainfall-runoff model. *Journal of Environmental Hydrology*, 19(11), 1–16. Retrieved from <http://www.hydroweb.com>

Lampiran 1. Curah hujan harian tahun 2011
Appendix 1. Daily rainfall for year 2011

Tanggal (Date)	Bulan (Month)												Jumlah (mm) (Total)
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	
1	12,1	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	14,0	
2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	8,0	
3	53,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	23,0	
4	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	15,8	0,0	10,0	0,0	0,0	
5	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
6	15,0	0,0	6,3	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	3,0	
7	3,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,4	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8	0,0	0,0	10,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,4	0,0	0,0	
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	
11	16,0	0,0	5,4	0,0	0,0	19,2	1,2	0,0	21,0	35,0	0,0	2,0	
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	
14	0,0	5,0	0,0	21,0	0,0	0,0	2,8	6,2	0,0	0,0	50,0	3,0	
15	0,0	3,0	0,0	0,0	13,6	0,0	45,6	2,4	0,0	44,2	10,0	0,0	
16	6,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	0,0	0,0	
17	11,1	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
18	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	
19	0,0	0,0	6,0	0,0	22,3	0,0	0,0	24,0	13,0	0,0	0,0	6,0	
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	11,4	7,0	36,0	11,0	13,0	
21	0,0	0,0	5,0	10,0	0,0	9,0	0,0	0,0	7,0	11,0	0,0	3,0	
22	0,0	0,0	21,0	0,0	0,0	16,7	42,0	0,0	6,0	30,0	0,0	8,0	
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	49,0	0,0	
24	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	11,0	
25	0,0	5,0	0,0	0,0	19,0	0,0	15,6	5,0	4,6	29,0	0,0	29,0	
26	12,0	10,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	22,8	0,0	13,0	0,0	31,0	
27	6,0	0,0	0,0	8,0	51,6	0,0	25,4	0,0	5,4	4,0	0,0	8,0	
28	0,0	24,0	0,0	0,0	3,0	0,0	16,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	
29	0,0		9,0	0,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	
30	0,0		0,0	55,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	14,0	48,0	0,0	
31	11,0		0,0		0,0		0,0	0,0				0,0	
Total (mm)	150,2	92,0	74,7	143,0	130,2	83,9	164,8	157,2	93,9	323,6	231,0	162,0	1806,7

Lampiran 2. Curah hujan harian tahun 2012
Appendix 2. Daily rainfall for year 2012

Tanggal (Date)	Bulan (Month)												Jumlah (mm) (Total)
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	
1	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	0,8	30,2	0,0	0,0	31,4	6,0	
2	0,0	0,0	10,6	0,0	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3	0,0	0,0	2,0	17,6	0,0	0,0	4,4	0,6	0,0	0,8	3,0	25,2	
4	0,0	0,0	0,0	9,6	37,6	0,0	1,4	0,0	0,0	14,0	0,0	5,0	
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	3,0	0,0	48,0	0,0	1,6	0,0	
6	0,0	0,0	5,4	0,0	1,0	0,0	0,0	21,4	0,0	1,6	0,6	0,0	
7	0,0	0,0	2,6	2,8	0,0	0,0	37,6	1,4	0,0	0,8	95,0	0,0	
8	0,0	0,0	19,0	3,0	0,0	25,4	9,4	0,0	0,0	0,0	5,0	5,7	
9	0,0	5,4	0,6	0,0	2,8	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	1,0	
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,2	0,0	0,8	2,2	6,2	0,0	
11	0,0	0,0	17,4	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,4	7,4	0,0	
12	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	0,0	4,6	0,0	5,6	4,2	79,4	0,0	
13	74,3	3,2	14,6	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	1,2	44,6	30,6	65,1	
14	4,6	0,0	0,8	56,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	2,4	5,0	
15	7,1	0,4	1,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	4,8	1,0	31,2	1,3	
16	0,0	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,4	19,2	0,0	4,6	
17	0,0	1,8	14,4	32,2	1,6	0,0	11,6	3,0	0,0	8,2	0,4	0,0	
18	1,5	14,0	9,6	1,2	0,0	0,0	0,4	37,2	0,0	23,6	38,8	21,8	
19	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	3,0	9,8	0,0	
20	46,5	19,0	0,0	0,0	24,2	0,0	0,0	9,4	3,4	0,6	5,0	15,0	
21	0,0	1,4	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	60,2	1,0	11,4	0,0	4,0	
22	26,2	0,0	0,0	0,0	76,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	
23	0,0	0,4	46,8	0,0	4,2	4,2	0,0	2,2	0,0	4,4	27,2	32,0	
24	0,0	8,0	1,6	6,8	0,4	0,0	0,0	26,8	0,0	0,0	0,0	15,4	
25	25,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,6	0,8	2,4	6,0	
26	0,0	11,4	0,0	61,6	0,0	3,2	0,0	0,8	29,0	21,4	29,6	0,0	
27	0,0	0,2	14,2	0,0	3,2	26,6	0,0	16,6	20,0	0,0	25,8	0,0	
28	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	0,6	3,2	19,4	0,0	14,4	35,8	0,0	
29	0,0	11,4	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	6,6	21,0	0,0	
30	0,0		0,0	0,0	0,0	43,4	0,0	0,0	0,0	11,4	7,6	0,0	
31	0,0		0,6		3,2		0,0	0,0		10,0		0,0	
Total (mm)	185,2	86,6	183,4	205,2	223,4	119,0	134,0	244,4	196,8	204,6	523,4	213,1	2519,1