

**STUDI MUTU KAYU JATI DI HUTAN RAKYAT GUNUNGKIDUL
I. PENGUKURAN LAJU PERTUMBUHAN****SRI NUGROHO MARSOEM**

Bagian Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*Email:snmarsoem@ugm.ac.id

ABSTRACT

Gunungkidul regency has a potentiality to be a producer of teak wood as raw materials for industrial purposes. This study aimed to find out the growth-rate and increment levels of teak trees from community forests in Gunungkidul regency and to correlate it with the rainfall factor. Three observed sites were Panggang, Playen and Nglipar. The observation was conducted during 3 years, i.e. 1st period (October 2009-September 2010), 2nd period (October 2010-September 2011), and 3rd period (October 2011-September 2012). The measurements of diameter were performed on trees in 3 diameter classes (high, middle, small) every in the end of the month by 5 replications of each class. The results were the highest average of diameter increment were 2.21 ± 0.52 cm/year observed in Panggang for high diameter class as the lowest level was 0.33 ± 0.19 cm/year observed in Nglipar for small diameter class. High diameter class showed the highest increment values. Most of the growth-rate levels of 1st period were the highest in every sites and diameter classes. Generally, the measurement of monthly increment showed the minimum or minus growth between May and September, the highest increment peaks were measured during November – February. Pearson's correlation for all the data between the rates of increment and rainfall ($r = 0.24$) or rainy day ($r = 0.28$) were significant. Data correlation on the basis of growth-sites showed the highest degree which were observed in Playen, especially in the 2nd period. The weak correlation generally indicates the other factors should be considered to discover the trend of the growth of teak trees in the community forests of Gunungkidul regency.

Keywords: *Tectona grandis, growth rate, increment, Gunungkidul, rainfall.*

INTISARI

Kabupaten Gunungkidul menyimpan potensi sebagai penyedia kayu jati sebagai bahan baku industri dari hutan rakyatnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya laju pertumbuhan dan riap pohon jati di hutan rakyat di Kabupaten Gunungkidul serta dihubungkan dengan faktor hujan. Tempat tumbuh yang diamati yaitu Panggang, Playen dan Nglipar. Pengamatan dilakukan selama 3 tahun, yaitu periode I (Oktober 2009-September 2010), periode II (Oktober 2010-September 2011), dan periode III (Oktober 2011-September 2012). Pengukuran diameter pohon dilakukan setiap akhir bulan pada 3 kelas diameter pohon, yaitu besar, menengah dan kecil, dengan ulangan 5 pohon tiap kelasnya. Hasil pengamatan menunjukkan rerata riap diameter tertinggi sebesar $2,21 \pm 0,52$ cm/tahun diamati di Panggang untuk kelas diameter besar sedangkan nilai terendah sebesar $0,33 \pm 0,19$ cm/tahun diamati di Nglipar yaitu untuk kelas diameter kecil. Kelas diameter besar memberikan nilai riap yang tertinggi. Pertumbuhan saat periode I hampir semua menunjukkan tertinggi pada semua tempat tumbuh dan kelas diameter. Secara umum, pengukuran riap bulanan menunjukkan adanya pertumbuhan minim dan minus antara Mei-September, puncak pertumbuhan antara Nopember-Februari. Korelasi Pearson antara riap dan curah/hari hujan untuk semua data menunjukkan korelasi sangat nyata antara riap bulanan dengan curah hujan ($r = 0,24$) atau hari hujan ($r = 0,28$). Korelasi data berdasarkan faktor tempat tumbuh memperoleh derajat korelasi tertinggi ($r = 0,67$) yang diamati di

Playen khususnya di periode II. Rendahnya derajat korelasi secara umum mengindikasikan beberapa faktor lain perlu diperhitungkan untuk mengetahui kecenderungan pertumbuhan pohon hutan rakyat Gunungkidul.

Katakunci: *Tectona grandis, laju pertumbuhan, riap, Gunungkidul, curah hujan*

PENDAHULUAN

Sebagai penghasil kayu dan hasil hutan lainnya, hutan rakyat memiliki peran yang sangat penting dan di seluruh Indonesia luasnya tidak kurang dari 1,5 juta ha. Di Jawa dari berbagai jenis tanaman yang dapat dijumpai pada hutan rakyat, jati (*Tectona grandis*) rupanya telah menjadi pilihan utama para petani. Mereka memandang tanaman jati sebagai tabungan (yang mudah diuangkan) bila suatu ketika dirinya memerlukan dana cukup besar dalam kehidupannya. Penanaman jati di hutan rakyat disadari telah memberikan dampak positif terhadap pasokan untuk permintaan kayu yang terus meningkat dan sebagai alternatif tambahan penerimaan bagi para petani.

Salah satu sentra penghasil kayu jati rakyat adalah D.I. Yogyakarta, khususnya Kabupaten Gunungkidul. Pada tahun 2007, tercatat hampir 60.000 m³ kayu jati telah dipasok dari Gunungkidul yang merupakan 70 % dari total produksi di D.I. Yogyakarta (Departemen Kehutanan 2007). Di tahun 2011, volume produksi kayu bulat jati dari hutan rakyat mencapai 86.063 m³ (Dinas Kehutanan dan Perkebunan di dalam Badan Pusat Statistik Kab. Gunungkidul, 2013). Menurut Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kab. Gunungkidul (2012), Gunungkidul merupakan dataran tinggi dan bergunung-gunung, dengan topografi keadaan tanahnya secara garis besar dibagi menjadi 3 wilayah pengembangan (zona), yaitu zona utara (Zona Batur Agung, 200 - 700 m dpl), zona tengah (Zona Ledok Wonosari, 150 - 200 m dpl), dan zona selatan (Zona

Pegunungan Seribu, 100 - 300 m dpl). Hutan rakyat yang tersebar di zona ekologis yang berbeda tentunya akan berpengaruh pada pertumbuhan dan kualitas kayu yang dihasilkan.

Indikator yang umumnya dilakukan oleh para ahli pemuliaan pohon dalam mengevaluasi bagus tidaknya suatu tegakan adalah dengan melihat kecepatan pertumbuhan dan bentuk batangnya (Zobel dan Talbert, 1984). Semakin cepat pertumbuhan dan semakin tinggi kerapatan (berat jenis) biomassa (kayu) yang dihasilkan, semakin tinggi pula kemampuan tanaman tersebut dalam menyerap karbon. Selain benih, keadaan tempat tumbuh juga merupakan penentu terpenting bagi laju pertumbuhan dan sifat-sifat kayu yang dihasilkan. Jarak tanam dan adanya tumbuhan di sekelilingnya menentukan tingkat persaingan bagi elemen pertumbuhan yang kritis seperti nutrien, air, dan sinar matahari. Jika persaingannya ringan, tajuk dan sistem perakarannya dapat berkembang dengan sempurna karena elemen kritisnya bukan merupakan pembatas dan keadaan yang sebaliknya juga terjadi (Bowyer *et al.*, 2003).

Di daerah tropis, pola pertumbuhan musiman pada kayu umumnya berhubungan dengan ketersediaan air (Bhattacharyya *et al.*, 2007; D'arrigo *et al.*, 2011; Shah *et al.*, 2007; Worbes, 1999). Beberapa daerah tropis mempunyai paling tidak 2 bulan kering (Worbes, 1995; 1999), musim kering atau musim hujan dengan pemisah bulan hujan selama pertengahan musim (Priya dan Bhat, 1998). Kabupaten Gunungkidul terletak di bujur Timur 110°

21' – 110° 50' dan lintang Selatan 7° 46' – 8° 09'. Secara klimatologi, curah hujan rata-rata Kabupaten Gunungkidul 2010 sebesar 1.954 mm/tahun dengan jumlah hari hujan rata-rata 103 hari per tahun, suhu udara rata-rata harian 27,7° C, suhu minimum 23,2°C dan suhu maksimum 32,4° C sedangkan kelembaban nisbi berkisar antara 80 % - 85 % (Kabupaten Gunungkidul, 2012). Bulan basah 7 bulan, sedangkan bulan kering berkisar antara 5 bulan. Musim hujan dimulai pada bulan Oktober-November dan berakhir pada bulan Mei-Juni setiap tahunnya. Puncak curah hujan dicapai pada bulan Desember-Februari.

Dari penelitian sebelumnya pada kayu mindi (Marsoem dan Itoh, 2000) dan meranti (Marsoem, 2004) di Jogjakarta, telah diketahui pengaruh faktor klimatis terhadap pertumbuhan pohonnya. Penelitian ini bertujuan mengetahui besarnya laju pertumbuhan dan riap pohon di 3 tempat tumbuh yang berbeda di Kab. Gunungkidul. Tujuan lainnya adalah ingin mengetahui hubungan riap pertumbuhan pohon dengan faktor curah hujan. Laju pertumbuhan dibahas dalam kerangka pandang fungsi aktivitas kambium dan pengaruhnya terhadap sifat kayu. Penelitian ini merupakan bagian dari payung penelitian mengenai sifat kayu dari hutan rakyat di Gunungkidul. Laporan pendahuluan sebelumnya telah membahas karakteristik biomasnya (Sulistyo *et al.*, 2010) serta sifat pertumbuhan melalui piringan (*disk*) kayu (Lukmandaru *et al.*, 2010) pada sampel

dari tempat yang sama. Pengetahuan mengenai pertumbuhan pohon akan berpengaruh terhadap kuantitas kayunya sehingga cukup penting dalam pengelolaan hutan lestari karena dapat diarahkan ke produk kayu dari hutan tiap tahunnya.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian dilakukan pada Agustus 2009 sampai Nopember 2012 di 3 lokasi hutan rakyat yaitu Kecamatan Panggang (Desa Girisekar, zona selatan), Playen (Desa Dengok, zona tengah), dan Nglipar (Desa Kedungkeris, zona utara), Kab. Gunungkidul. Deskripsi tempat disajikan pada Tabel 1. Waktu pengamatan dibagi menjadi 3 periode, yaitu : Periode I (Oktober 2009-September 2010), Periode II (Oktober 2010-September 2011), dan Periode III (Oktober 2011-September 2012).

Bahan dan pengukuran laju pertumbuhan

Pengukuran dilakukan pada pohon di setiap tempat dalam 3 kelas diameter. Pembagiannya yaitu diameter besar (KDB) 25,1-35,0 cm; sedang/menengah (KDM) 15,1-25,0 cm; dan kecil (KDK) 5,1-15,0 cm (Tabel 2). Ulangan yang dipakai adalah 5 pohon untuk tiap kelas dan diukur pada diameter setinggi dada yang diberi tanda dengan cat melingkar dan ditempat yang diberi tanda itu diukur kelilingnya dengan pita diameter sebagai titik awal dari pertumbuhan pohonnya. Pengukuran keliling

Tabel 1. Kondisi tempat tumbuh tempat pengamatan sampel pohon di hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul

| Faktor | Panggang (Desa Girisekar) | Playen (Desa Dengok) | Nglipar (Desa Kedungkeris) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Ketinggian tempat (m dpl) | 270 | 150 | 115 |
| Jenis tanah | Litosol | Grumusol | Mediteran |
| Tipe tanah | Berbatu | Lempung berat | Lempung |
| Perlakuan silvikultur | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Tanaman semusim | Ada | Ada | Ada |

dilanjutkan dan dilakukan terus menerus tiap akhir bulan, dan dari selisih antar dua pengukuran ini akan diperoleh riap atau pertumbuhan diameter yang diperoleh dengan mengkonversi penambahan keliling pohon tersebut per bulan. Riap tahunan per individu dihitung dari interval tiga tahun dengan rumus $(D2-D1)/t$, dimana D1 adalah diameter saat bulan pertama pengukuran, D2 adalah diameter saat bulan terakhir pengukuran, sedangkan t adalah interval pengukuran (3 tahun).

Curah dan hari hujan

Data curah dan hari hujan diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Stasiun Geofisika (BMKG) Kelas I, Yogyakarta.

Analisis data

Data secara deskriptif disajikan dalam bentuk rerata dan standar deviasi. Korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan

antar parameter (koefisien korelasi) yaitu antara penambahan diameter pohon dengan faktor tempat tumbuh, kelas diameter, dan periode. Perhitungan statistik memakai *software* SPSS 10.0 (Windows).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Curah dan hari hujan

Data sekunder pada tiga lokasi pengamatan disajikan pada Gambar 1. Dari data hujan di Panggang, total curah hujan untuk periode I, II dan III adalah 2.234 mm (58 hari hujan), 2.518 mm (83 hari hujan) dan 2.140 (62 hari hujan), secara berturutan sedangkan di Playen adalah 1.917 mm (121 hari hujan), 1.876 mm (121 hari hujan), 1.636 mm (61 hari hujan). Total curah hujan untuk periode I, II dan III di Nglipar berturut-turut adalah 1.492 mm (110 hari hujan), 1.834 mm (130 hari hujan), dan 1.706 mm (94 hari hujan). Panggang yang merupakan bagian selatan mempunyai curah hujan

Tabel 2. Kelas diameter pohon (cm) untuk pengukuran pertumbuhan dan riap di 3 tempat hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul

| Lokasi | Panggang (Desa Girisekar) | Playen (Desa Dengok) | Nglipar (Desa Kedungkeris) |
|-----------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Diameter Besar | 30,40 | 31,83 | 28,43 |
| | 26,74 | 34,60 | 25,62 |
| | 25,46 | 29,41 | 26,71 |
| | 28,01 | 35,81 | 27,44 |
| | 30,56 | 31,35 | 25,05 |
| Rerata | 28,23 | 32,60 | 26,64 |
| Diameter Sedang | 17,98 | 23,46 | 20,53 |
| | 20,53 | 23,55 | 18,46 |
| | 20,53 | 20,53 | 18,14 |
| | 21,01 | 18,72 | 18,62 |
| | 20,21 | 22,41 | 21,01 |
| Rerata | 20,05 | 21,73 | 19,35 |
| Diameter Kecil | 9,10 | 11,62 | 13,62 |
| | 12,99 | 13,08 | 11,78 |
| | 12,03 | 13,27 | 13,85 |
| | 12,89 | 10,92 | 13,69 |
| | 13,21 | 12,64 | 12,25 |
| Rerata | 12,04 | 12,30 | 13,03 |

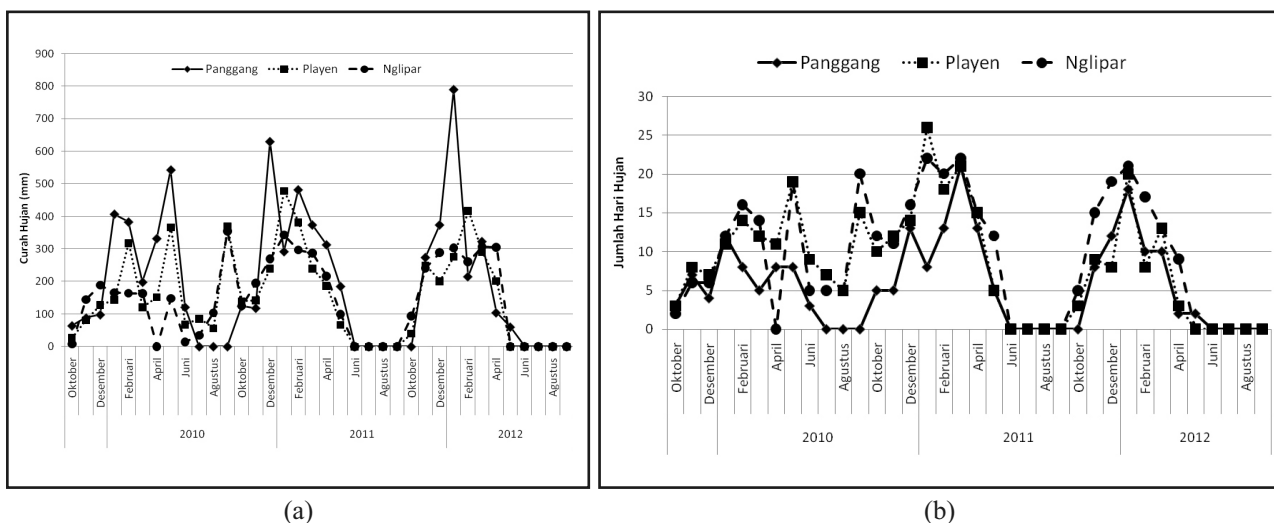
tertinggi meski jumlah hari hujan secara keseluruhan lebih rendah selama 3 tahun pengamatan ini. Pada umumnya, di Indonesia, Oktober-Maret merupakan musim hujan sedangkan April-September merupakan musim kering. Data di Gunungkidul menunjukkan bahwa April dan Mei sebagian besar masih terdapat hujan. Meski terdapat variasi, di tiga tempat pengamatan di Gunungkidul terdapat persamaan yaitu sekitar Juni-September merupakan bulan tanpa hujan atau sekitar 4-5 bulan kering dalam setahun. Perkecualian adalah pada periode I di Playen dan Nglipar, dimana antara Juli sampai September masih terdapat hujan. Perlu dicatat bahwa di tahun 2010 memang terjadi hujan di sepanjang bulan di kebanyakan tempat di Jogjakarta dan Jawa Tengah. Suatu fenomena yang bisa dikatakan jarang terjadi. Fenomena tersebut juga diduga menyebabkan tingginya curah hujan di daerah Panggang yang umumnya bagian selatan Gunungkidul merupakan daerah yang relatif kering.

Curah hujan tertinggi di lokasi Panggang diamati pada bulan Januari (407 mm) dan Mei (543 mm) di periode I, Desember (630 mm) dan Februari (482 mm) untuk periode II serta Desember (374 mm) dan Januari (790 mm) di periode III. Untuk hari

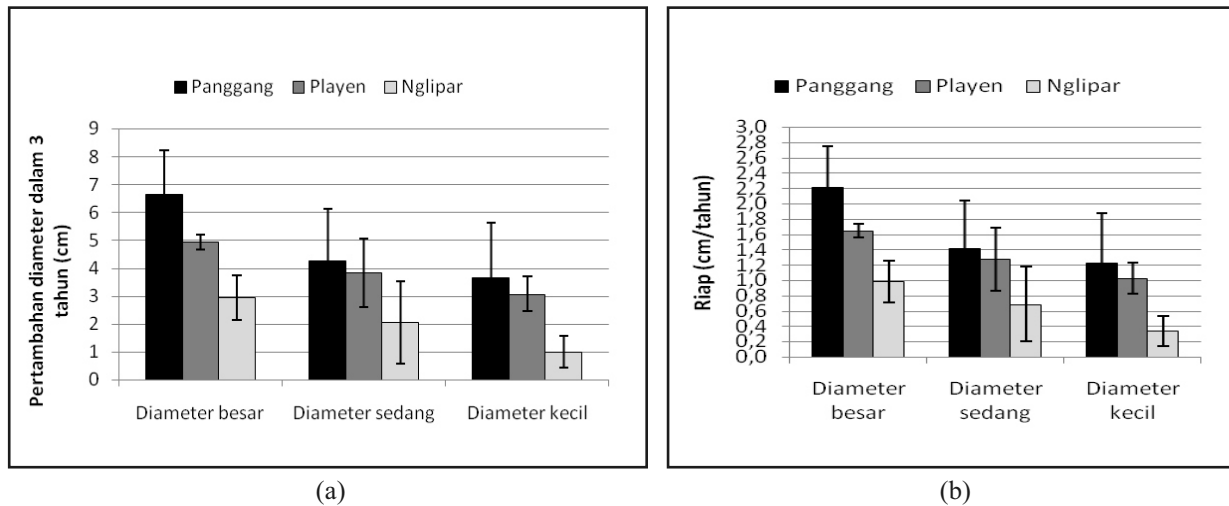
hujannya, jumlah tertinggi diukur pada Januari (12 hari) di periode I, Maret (21 hari) di periode II, dan Januari (18 hari) di periode III. Di lokasi Playen, curah hujan tertinggi adalah di bulan Mei (367 mm) dan September (369 mm) untuk periode I, Januari (478 mm) dan Februari (482 mm) untuk periode II serta Februari (417 mm) dan Maret (290 mm) di periode III. Berdasarkan jumlah hari hujannya, nilai tertinggi pada bulan Mei (19 hari) di periode I, Maret (21 hari) di periode II, dan Januari (20 hari) di periode III. Di lokasi Nglipar, curah hujan tertinggi diamati pada bulan Desember (189 mm) dan September (355 mm) untuk periode I, Januari (343 mm) dan Februari (297 mm) untuk periode II, serta Januari (303 mm) dan Maret (307 mm) untuk periode III. Di lokasi tersebut, jumlah hari hujan tertinggi adalah di bulan September (20 hari) untuk periode I, Januari atau Maret (22 hari) untuk periode II, dan Januari (21 hari) di periode III.

Pertambahan diameter dan riap

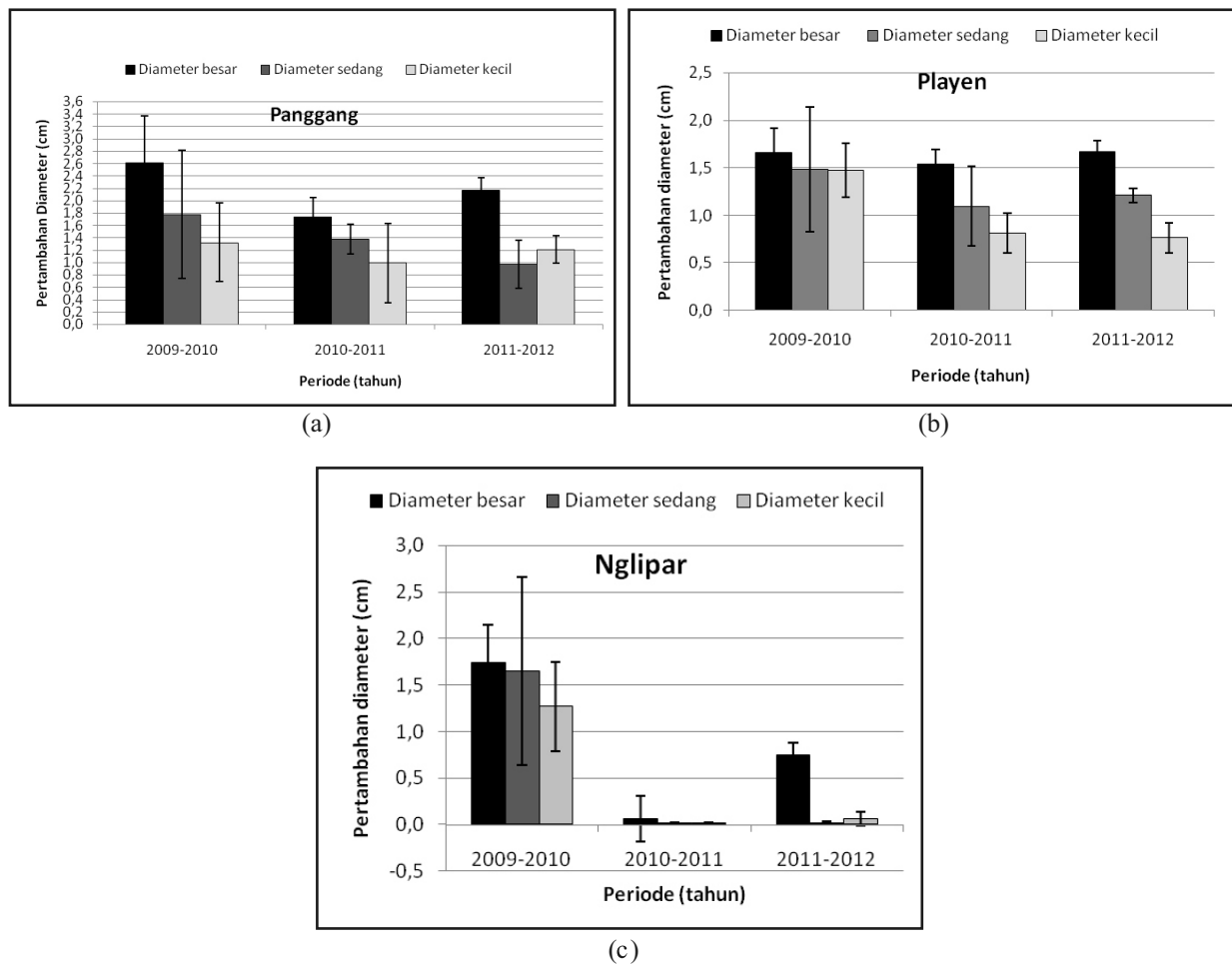
Dari pengamatan selama 3 tahun (Gambar 2a) untuk setiap kelas diameter, pertambahan diameter dan riap tahunan tertinggi diamati pada pohon jati di Panggang sedangkan yang terendah di Nglipar. Rerata pertambahan diameter KDB di Panggang



Gambar 1. Data curah hujan (a) dan jumlah hari hujan (b) di 3 tempat Kabupaten Gunungkidul 2010-2012. Sumber : Badan Meterologi, Klimatologi, dan Geofisika, Stasiun Geofisika Kelas I, Jogjakarta (2013).



Gambar 2. Rerata pertumbuhan diameter pohon (a) dan riap tahunan (b) di 3 tempat hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul. Pengamatan dilakukan pada 5 individu untuk setiap kelas diameter.



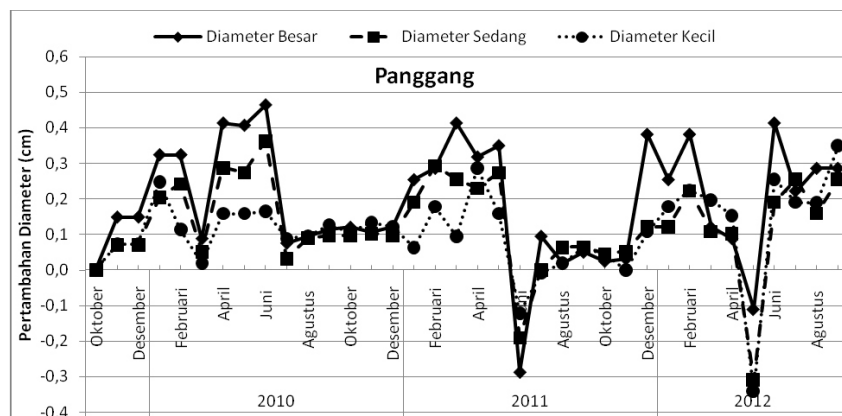
Gambar 3. Rerata pertumbuhan diameter pohon tahunan di 3 tempat hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul. Pengamatan dilakukan pada 5 individu untuk setiap kelas diameter.

adalah dari 28,2 cm ke 34,9 cm atau $6,7 \pm 1,5$ cm selama 3 tahun dengan rerata riap tahunan adalah $2,21 \pm 0,52$ cm/tahun. Nilai terendah diamati di Nglipar yaitu KDK dimana rerata pertambahan

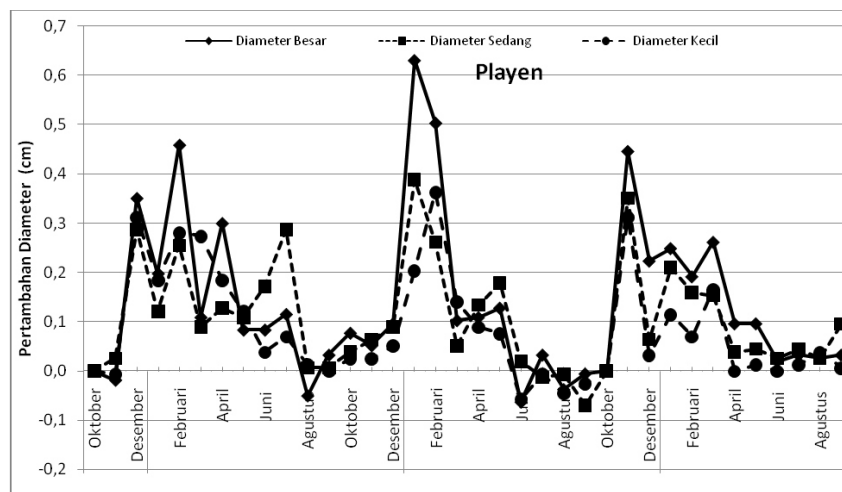
diameter sebesar 13,0 cm ke 14,0 cm selama 3 tahun atau riap tahunan rerata adalah $0,33 \pm 0,19$ cm/tahun. Pengamatan sebelumnya untuk riap diameter adalah 2,25 cm/tahun untuk jati tumbuh di Nusa Penida (Susila, 2012). Penelitian lain menyebutkan riap tahunan jati adalah dalam kisaran 1,00-4,72 cm/tahun berdasarkan variasi diameter dan empat tempat tumbuh yang berbeda di India (Nath *et al.*, 2006).

Berdasarkan kelas diameternya, pada semua lokasi menunjukkan kecenderungan semakin tinggi kelas diameter maka semakin tinggi riap pertumbuhannya (Gambar 2b). Umumnya selisih relatif besar didapatkan antara KDB dan KDM. Sebagai contoh, di Panggang rerata riap berturutan

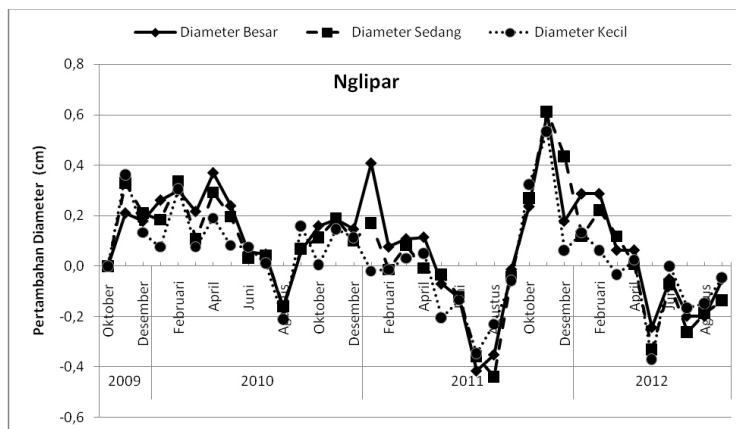
untuk KDB, KDM, dan KDK secara berturutan adalah $2,21 \pm 0,52$; $1,42 \pm 0,62$; dan $1,22 \pm 0,65$ cm/tahun. Perbedaan yang relatif besar antara 3 lokasi tersebut bisa dilihat pada KDB dimana rerata riap di Panggang, Playen dan Nglipar adalah $6,66 \pm 1,58$; $4,94 \pm 0,27$; dan $2,94 \pm 0,80$ cm/tahun, secara berturutan. Selisih pertambahan diameter dan riap pertumbuhan antara Panggang dan Playen tidak berbeda jauh antara KDM dan KDK. Faktor yang diduga berpengaruh adalah karena sistem penanaman campuran pohon hutan dengan tanaman pertanian di hutan rakyat, dimana terjadi kompetisi dalam pemenuhan air, nutrisi, maupun cahaya. Secara umum, tanaman pertanian semusim maupun tahunan merupakan tanaman dengan pertumbuhan cepat.



Gambar 4. Pertambahan diameter pohon pada kelas diameter di hutan rakyat Panggang Kabupaten Gunungkidul selama 2009-2012.



Gambar 5. Pertambahan diameter pohon pada kelas diameter di hutan rakyat Playen Kabupaten Gunungkidul selama 2009-2012.



Gambar 6. Pertambahan diameter pohon pada kelas diameter di hutan rakyat Nglipar Kabupaten Gunungkidul selama 2009-2012.

Kecepatan pertumbuhan tersebut sangat mungkin berkorelasi dengan kebutuhan hara yang lebih tinggi. Selain itu, laju pertumbuhan batang pohon berdiameter sedang atau kecil yang lebih rendah diduga karena merupakan pohon tertekan oleh kompetisi dengan tumbuhan di sekitarnya. Di hutan rakyat yang diteliti ini memang terlihat pencampuran antara kelas diameter pohon. Kecenderungan serupa di nilai laju pertumbuhan juga diamati oleh Nath *et al.* (2006) di beberapa spesies dalam berbagai variasi hutan semusim di India.

Untuk mengetahui kontribusi pertumbuhan pohon tahunannya, pengukuran data tiap tempat tumbuh disajikan pada Gambar 3. Secara umum, pertambahan diameter tertinggi di tiap kelas diameter dan lokasi diukur pada periode I pengamatan (2009-2010) sedangkan kecenderungan antara periode II dan III cukup bervariasi. Sebagai contoh, pertambahan diameter pada KDB dari periode I, II, ke III di Panggang secara berturut-turut adalah $2,61 \pm 0,75$; $1,73 \pm 0,31$; dan $2,16 \pm 0,20$ cm sedangkan pada KDM adalah $1,77 \pm 1,03$; $1,37 \pm 0,23$; dan $0,97 \pm 0,39$ cm. Kecenderungan lainnya adalah pada beberapa kelas diameter dan lokasi menunjukkan rendahnya pertambahan diameter pada periode II (2010-2011). Hal ini terlihat pada lokasi Panggang (KDB dan KDK), Playen (KDB dan KDM) dan

Nglipar (semua kelas diameter). Selisih relatif besar dapat dilihat pada pohon jati di Nglipar dimana dari periode I ke III untuk KDB adalah $1,74 \pm 0,40$; $0,06 \pm 0,24$; dan $0,74 \pm 0,13$ cm, secara berturut-turut sedangkan pada KDK adalah $1,26 \pm 0,48$; $0,01 \pm 0,01$; dan $0,06 \pm 0,06$ cm. Perlu dicatat adalah nilai standar deviasi yang tinggi di KDM dan KDK di beberapa tempat menunjukkan respon pohon secara individu yang bervariasi terhadap kondisi lingkungannya meskipun masih dalam satu tempat tumbuh.

Penambahan diameter bulanan

Sudah umum diketahui bahwa penambahan diameter pohon disebabkan oleh penambahan sel-sel baru dari kambium. Di daerah tropis, dimana iklim lebih berpola sama, awalnya diasumsikan kambium akan terus aktif dalam setahun. Pengukuran penambahan diameter tiap bulannya pada pohon jati di 3 lokasi selama 3 tahun disajikan pada Gambar 4-6. Secara umum didapatkan variasi kecenderungan penambahan diameter baik dalam satu tempat tumbuh lokasi (antar kelas diameter) maupun antar tempat tumbuh.

Pengamatan di Panggang (Gambar 4), kecenderungan yang umum adalah adanya persamaan yaitu pertumbuhan yang minim atau bahkan minus pada bulan Oktober, Maret (periode I), bulan

Juni-Juli (periode II), bulan Mei (periode III). Pertumbuhan maksimum di periode I terlihat pada bulan Januari (KDK 0,24 cm), Juni (KDB 0,44 cm dan KDM 0,35 cm), sedangkan di periode II terlihat pada bulan Februari (KDS 0,28 cm), Maret (KDB 0,41 cm), dan April (KDK 0,28 cm). Selanjutnya untuk periode III, terlihat pada bulan Juli (KDB 0,41 cm), Juli dan September (KDM 0,25 cm) dan September (KDK 0,35 cm).

Pengamatan di Playen (Gambar 5) menunjukkan kesamaan kecenderungan yaitu kenaikan diameter pohon relatif besar di Februari (periode I), Januari (periode II) dan Nopember (periode III) pada semua kelas diameter. Selain itu juga diamati pertumbuhan relatif rendah bahkan minus dari Agustus-September (periode I) dan Juni sampai Oktober (periode II). Sama halnya di lokasi Panggang, fluktuasi penambahan diameter pada KDB dan KDM mempunyai kecenderungan relatif sama bila dibandingkan KDK. Pengukuran penambahan diameter pohon yang tertinggi periode I diamati di bulan Februari (KDB 0,44 cm), Desember atau Juli (KDM 0,28 cm) dan Desember (KDK 0,28 cm). Untuk periode II, diukur pada bulan Januari (KDB 0,60 cm dan KDM 0,38 cm), dan Februari (KDK 0,35 cm), sedangkan di periode III diukur pada Nopember (KDB 0,44 cm; KDM 0,35 cm dan KDK 0,28 cm).

Kecenderungan pada 3 kelas diameter di Nglipar (Gambar 5) relatif seragam. Pertumbuhan minus diamati pada Agustus (periode I), Mei-Agustus (periode II), dan Mei-Juni (periode III), sedangkan penambahan maksimum diamati pada Nopember (periode III). Perbedaan kecenderungan paling tampak adalah pada Desember - Januari untuk semua periode yang menunjukkan variasi pada ketiga kelas diameter. Penambahan diameter maksimum periode I diukur pada bulan Nopember (KDK 0,35 cm),

Februari (KDM 0,31 cm), dan April (KDB 0,35 cm). Di periode II, nilai maksimum di bulan Januari (KDB 0,38 cm), dan Nopember (KDM 0,19 cm dan KDK 0,12 cm), sedangkan periode III diamati pada bulan Nopember (KDB 0,60 cm, KDM 0,60 cm, dan KDK 0,31 cm).

Penelitian oleh Priya dan Bhat (1998), bahwa aktivitas kambium pohon jati di India yang berasal dari tiga tempat tumbuh menunjukkan pengaruh curah hujan setempat dan umur kambiumnya dimana reaktivasi kambium terjadi selama Maret - April, saat awal gugur daun merupakan masa memecah dormansi kambium. Periode puncak kambium terjadi pada Juni-Juli, sedangkan dormansi dimulai Oktober-Desember bergantung umur dan tempat tumbuh. Masih di India, Rao dan Rajput (1999) yang membandingkan aktivitas kambium pohon jati pada hutan semusim lembab dan kering dan mendapatkan hasil yang bulan berbeda saat pertumbuhan maksimumnya tetapi masa dormansi yang sama yaitu selama musim kering dan tanpa daun.

Meski tidak dilakukan analisis sel kambium dalam penelitian ini dan hasilnya bervariasi berdasarkan kelas diameter, periode dan tempat tumbuh, terlihat bahwa pertumbuhan yang relatif sedikit atau minus menunjukkan adanya masa dormansi kambium yaitu antara Mei-September yang merupakan bulan kering. Puncak pertumbuhan terjadi pada antara November-Februari atau dalam bulan basah, dengan bulan pengaktifan kambium sekitar September-Oktober (permulaan hujan). Perlu dicatat bahwa perubahan diameter/keliling yang diukur seiring waktu dan diukur secara eksternal melalui pita diameter tidak selalu mencerminkan 'pertumbuhan' yang sebenarnya atau riap kayu, khususnya untuk pertumbuhan minus. Batang bisa mengembang dan menyusut karena perubahan kadar

air pada kulit kayu selama musim panas dan hujan (Zweifel *et al.*, 2000).

Hubungan antara riap dengan curah dan hari hujan

Pembentukan sel-sel vaskuler umumnya sensitif terhadap ketersediaan air (Kozlowski, 1982). Lebih lanjut, ketersediaan air dalam pembentukan sel berpengaruh terhadap kerapatan kayu (Kozlowski *et al.*, 1991). Variasi klimatis secara sensitif berpengaruh terhadap pertumbuhan jati (D'arrigo *et al.*, 2011; Priya dan Bhat, 1998; Pumijumnong,

2012; Shah *et al.*, 2007). Ketersediaan air selama periode vegetatif sangat berpengaruh terhadap aktivitas kambium di jati yang kemudian berpengaruh terhadap struktur anatomi kayunya (Nocetti *et al.*, 2011).

Untuk mengetahui keeratan hubungan, dilakukan penghitungan koefisien korelasi (r) yang disajikan pada Tabel 3. Penghitungan dilakukan secara keseluruhan maupun yang berbasis tiap tempat tumbuh dengan variasi pada periode dan kelas diameternya. Hasil yang didapat apabila semua data

Tabel 3. Korelasi Pearson (r) antara penambahan diameter dengan curah hujan dan hari hujan pada 3 tempat di hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul

| Pertambahan Diameter | Curah Hujan | Hari Hujan |
|--|-------------|------------|
| Keseluruhan | | |
| - Lokasi, periode, dan kelas diameter | 0,28** | 0,24** |
| - Kelas diameter besar (keseluruhan lokasi dan periode) | 0,40** | 0,32** |
| - Kelas diameter sedang (keseluruhan lokasi dan periode) | 0,30** | 0,29** |
| - Kelas diameter kecil (keseluruhan lokasi dan periode) | 0,13 | 0,10 |
| - Periode I (keseluruhan lokasi dan kelas diameter) | 0,27** | 0,13 |
| - Periode II (keseluruhan lokasi dan kelas diameter) | 0,52** | 0,47** |
| - Periode III (keseluruhan lokasi dan kelas diameter) | 0,15 | 0,18 |
| Panggung | | |
| - Panggang (keseluruhan periode dan kelas diameter) | 0,35** | 0,34** |
| - Periode I | 0,47** | 0,39* |
| - Periode II | 0,49** | 0,60** |
| - Periode III | 0,16 | 0,10 |
| - Kelas diameter besar | 0,45** | 0,40* |
| - Kelas diameter sedang | 0,43** | 0,39* |
| - Kelas diameter kecil | 0,16 | 0,27 |
| Playen | | |
| - Playen (keseluruhan periode dan kelas diameter) | 0,31** | 0,37** |
| - Periode I | 0,06 | 0,15 |
| - Periode II | 0,60** | 0,64** |
| - Periode III | 0,27 | 0,26 |
| - Kelas diameter besar | 0,43** | 0,46** |
| - Kelas diameter sedang | 0,34** | 0,47** |
| - Kelas diameter kecil | 0,18 | 0,21 |
| Nglipar | | |
| - Nglipar (keseluruhan periode dan kelas diameter) | 0,21* | 0,26** |
| - Periode I | 0,29 | 0,07 |
| - Periode II | 0,63** | 0,62** |
| - Periode III | 0,11 | 0,29 |
| - Kelas diameter besar | 0,34* | 0,37* |
| - Kelas diameter sedang | 0,24 | 0,29 |
| - Kelas diameter kecil | 0,03 | 0,10 |

diplotkan adalah korelasi yang sangat nyata antara riap dengan curah hujan ($r = 0,28$) maupun hari hujan ($r = 0,24$). Meskipun cukup lemah, hubungan tersebut ditafsirkan sebagai semakin banyak hujan maka penambahan dimensi pohon juga semakin intensif. Perhitungan tersebut bisa menjelaskan pertambahan diameter tertinggi di Panggang (Gambar 1) yang mempunyai curah hujan total tertinggi (> 2000 mm).

Hasil lainnya menunjukkan tidak ada korelasi nyata antara penambahan diameter dan curah/hari hujan pada periode III dan kelas diameter kecil. Selain itu, derajat korelasi sangat nyata tertinggi di antara kelas diameter diukur pada KDB ($r = 0,40$) sedangkan di antara periode diamati pada periode II ($r = 0,52$). Dalam artian, semakin banyak hujan maka semakin besar pertambahan diameter yang lebih jelas terlihat di KDB atau periode II. Berkaitan dengan periode II, seperti yang disajikan pada Gambar 3, dimana kontribusi riap penambahan diameter di periode II adalah yang terendah secara umum. Bila dikaitkan dengan jumlah total hujan per tahunnya di tiap tempat tumbuh maka kecenderungannya menjadi kurang cocok karena terjadi peningkatan hujan dari periode I ke II di Panggang dan Nglipar, sehingga harus dijelaskan oleh variabel lainnya.

Relatif tingginya derajat korelasi antara riap dengan KDB diduga karena semakin besar atau dewasa umur kambiumnya, maka kebutuhan terhadap air menjadi lebih intens. Secara teoritis dapat dijelaskan bahwa pertumbuhan kambium pada tumbuhan berkayu sangat sensitif dan dihambat oleh kekurangan air (*water stress*) menghambat pembelahan sel dengan mengurangi tekanan turgor sel-sel kambium dan secara langsung menghambat aktivitas kambium dengan mengurangi pertumbuhan daun dan meristem apikal sehingga mengurangi

persediaan hormon dan asimilasi yang dibutuhkan selama proses (Savidge, 1993). Pohon berdiameter besar dengan sedikit pohon di sekitarnya mengalami kekurangan air saat musim kering lebih intens sehingga menimbulkan penyusutan diameter lebih banyak dibanding pohon berdiameter kecil (Baker *et al.*, 2002).

Perhitungan koefisien korelasi berdasarkan tempat tumbuh menunjukkan tidak ada korelasi nyata antara penambahan diameter dengan curah atau hari hujan, KDK atau periode III pengukuran (Tabel 3). Berdasarkan kelas diameter, nilai koefisien korelasi tertinggi dan sangat nyata pada KDB antara penambahan diameter dan curah hujan yang diamati di Panggang ($r=0,45$) serta antara penambahan diameter dan jumlah hari hujan di Playen ($r=0,46$). Derajat keeratan tertinggi dan sangat nyata didapatkan pada pengukuran periode II di semua lokasi, dimana koefisien korelasi berkisar antara 0,47-0,64 yang nilai tertinggi diukur di Playen. Hal ini berarti hubungan secara moderat antara penambahan diameter dan besarnya curah atau hari hujan terlihat lebih jelas dalam periode pengukuran Oktober 2010-September 2011.

Untuk tempat tumbuh Panggang, penambahan diameter maksimum diamati antara bulan Januari - Februari dan April-Juni di periode I sesuai dengan pola curah dan hari hujan juga nilai pertumbuhan relatif sedikit antara Juli-September (Gambar 1 dan 4). Di lain pihak, pertumbuhan intensif antara Januari - Mei di periode II tidak bisa dijelaskan mengingat curah hujan yang tinggi didapatkan di bulan Nopember-Desember. Untuk periode III, korelasi menjadi lemah karena masih terdapat pertumbuhan pohon yang relatif besar meski Juni-September tidak ada hujan sama sekali. Selain itu, keanehan juga diamati saat Mei yang masih menunjukkan adanya

curah dan hari hujan meski relatif kecil tetapi menunjukkan pertumbuhan minus.

Hasil pengamatan di Playen saat periode I menunjukkan pertumbuhan intensif mulai Desember dan berfluktuasi sampai Juli dimana hal ini sesuai dengan pola curah dan hari hujan tetapi tidak pada Juli-September dimana pertumbuhan relatif sedikit meski masih terdapat hujan yang intensif (Gambar 1 dan 5). Di periode II, pertumbuhan maksimum di bulan Januari-Februari bisa diterangkan dengan pola hujan, juga pertumbuhan rendah atau minus di Juni-September. Pada periode III, pertumbuhan maksimum di bulan Nopember tidak sesuai dengan pola curah/hari hujan yang maksimum pada Februari juga kenaikan pertumbuhan yang rendah di bulan September tetapi pertumbuhan yang rendah antara Mei-Agustus sesuai pola curah hujannya.

Hasil pengamatan di Nglipar untuk periode I, pertumbuhan berfluktuatif sampai Juni sesuai pola curah/hari hujan tetapi tidak bisa dihubungkan pada bulan April yang tanpa hujan atau di Agustus dengan pertumbuhan minus tetapi masih ada hujan (Gambar 1 dan 6). Pada periode II, terdapat fluktuasi pertumbuhan antara Oktober-April padahal curah/hari hujan relatif meningkat dalam periode tersebut meski pertumbuhan minus antara Juni-September bisa dijelaskan dengan tidak adanya hujan. Pada periode III, pertumbuhan maksimum pada November dan menurun sampai Mei seiring dengan curah/hari hujan, tetapi pertumbuhan minus dan fluktuasi pertumbuhan antara Juni-September kurang sesuai dengan data tidak adanya hujan dalam kurun waktu tersebut.

Faktor di luar hujan

Jati tumbuh dalam kondisi terbaik di tempat tumbuh tanah aluvial yang dalam dan pengairan yang baik dengan curah hujan tahunan 900-2.500 mm

serta suhu antara 17 dan 43⁰ C (Enters, 2000; Pandey dan Brown, 2000). Tipe tempat tumbuh adalah 6 sampai 7 bulan musim hujan dan curah hujan 200 mm per bulan diikuti oleh 5 atau 6 musim kering (Purwanto dan Oohata, 2002). Pengamatan pada spesies lainnya seperti pada meranti yang tumbuh di Bulaksumur, Jogjakarta, menunjukkan bahwa jenis ini dapat tumbuh dengan riap diameter tahunan sampai sebesar 3,5 cm, dan musim kemarau selama 3 bulan (Juli-September) telah mengakibatkan berhentinya pertambahan diameter pohon pada bulan berikutnya yaitu pada bulan Oktober (Marsoem, 2004). Pengamatan di pohon mindi yang tumbuh di daerah Cangkringan, Jogjakarta, memperlihatkan bahwa pertambahan diameter yang paling nyata pada pohon ini terjadi antara bulan September sampai Maret dimana turunnya curah hujan dan suhu menjadi penyebab menurunnya pertambahan diameter tersebut (Marsoem dan Itoh, 2000). Lemahnya derajat korelasi dari basis data keseluruhan maupun berbasis tempat dalam penelitian ini mengindikasikan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan pohon sangat kompleks.

Rao dan Dave (1981) melaporkan pentingnya pengaruh suhu dalam reaktivasi kambium pohon jati di India dimana disebutkan suhu optimum pada pembelahan sel kambium antara 34-36⁰ C. Penelitian pada jati di Thailand bagian utara (Pumijumngong *et al.*, 1995) dan India (Shah *et al.*, 2007) mengindikasikan kombinasi suhu tinggi dan adanya hujan selama musim panas justru bisa menyebabkan peningkatan laju evapotranspirasi pohon sehingga menyebabkan pohon dalam kekurangan air. Sehingga, penyusutan diameter pohon tersebut dalam penelitian ini diduga karena dipicu kedua variabel tersebut, seperti yang diamati di daerah Panggang dan Nglipar. Sayangnya, dalam penelitian ini data suhu dan kelembaban relatif tidak tersedia di

stasiun pencatatan lokal. Penelitian oleh Toledo *et al.* (2011) untuk beberapa spesies pohon di hutan tropis Bolivia menunjukkan kisaran perbedaan rerata suhu tahunan yang sempit yaitu 24,2-26,4⁰ C ternyata mempengaruhi laju pertumbuhan diameternya. Peningkatan pertumbuhan bisa disebabkan oleh tanaman tersebut mendekati fotosintesis optimum.

Faktor tanah, yaitu tipe dan kesuburan tanah bisa menjadi faktor penentu pertumbuhan pohon jati. Dalam penelitian ini, perbedaan paling mencolok adalah di hutan rakyat Panggang adalah berbatu dengan lapisan solum yang tipis. Hal ini kontras tentunya dengan yang di Nglipar dengan solum yang tebal. Penelitian oleh Sinha *et al.* (2011) melalui analisis lingkaran tahun menunjukkan pertumbuhan radial pohon jati bervariasi oleh jenis tanah dan kondisi iklim, terutama curah hujan, kelembaban, suhu serta tipe tanah pada tempat tumbuh berbeda dan berperan nyata dalam pertumbuhan jati. Diasumsikan curah hujan bulanan minimum 50 mm merupakan kebutuhan minimum untuk pohon tumbuh (Worbes, 1995), dalam pengamatan ini meski tidak terdapat hujan, kelembaban diduga masih ada dalam tanah sehingga pertumbuhan masih meningkat dalam beberapa waktu terlepas dari kemampuan akar dalam mengakses kelembaban karena perbedaan jenis tanah. Meski demikian, tanah berbatu dengan solum tipis tentunya tidak ideal dalam pertumbuhan pohon jati jika melihat praktek yang ada di hutan tanaman Perhutani. Diduga pemilihan tempat tumbuh di luar Panggang juga tidak representatif dimana meski solum yang tebal tetapi termasuk tanah yang kurang subur. Pengamatan selama 3 tahun ini apakah mewakili besar laju pertumbuhan totalnya tentunya perlu dibuktikan dengan menghitung umur atau semua lingkaran tahun pohonnya.

Apabila pemanasan global memang terjadi maka peningkatan suhu lingkungan dan pengurangan kelembaban dalam tanah tidak bisa terelakkan. Eksperimen ini menunjukkan adanya korelasi nyata antara curah hujan dan pertumbuhan pohon meski derajatnya yang relatif rendah. Sehingga, langkah berikutnya disarankan untuk menghubungkan nilai kelembaban tanah dan suhu dengan laju pertumbuhan pohon dalam suatu deret waktu. Selanjutnya, dilakukan analisis *multiple-regression* untuk mendapatkan korelasi yang lebih tinggi dan faktor yang lebih berpengaruh.

KESIMPULAN

Hasil pengamatan menunjukkan pohon jati yang tumbuh di Panggang mempunyai rerata riap diameter tahunan tertinggi untuk semua kelas diameter. Kelas diameter besar memberikan nilai riap yang tertinggi di semua tempat tumbuh. Pertumbuhan saat periode I secara umum memberikan nilai lebih tinggi pada semua tempat tumbuh dan kelas diameter. Berdasarkan pengukuran riap bulanan, pertumbuhan minim dan minus terjadi antara Mei-September, puncak pertumbuhan antara Nopember-Februari. Hasil analisis korelasi Pearson antara riap dan curah/hari hujan untuk semua data menunjukkan korelasi sangat nyata tetapi dengan derajat yang rendah sampai moderat. Rendahnya derajat korelasi secara umum mengindikasikan beberapa faktor lain perlu diperhitungkan untuk mengetahui kecenderungan pertumbuhan pohon hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui skema Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Nomor: 177/SP2H/PP/DP2M/V/2009 – DIKTI.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Suryanto (LSM Arupa, Jogjakarta) yang telah membantu selama survei lapangan dan Sudaryono (mahasiswa Bagian THH) yang membantu menyusun data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kab. Gunungkidul. 2013. *Gunungkidul dalam Angka 2012*. Badan Pusat Statistik Kab. Gunungkidul. 226 hlm.
- Baker TR, Afum-Baffoe K, Burslem DFRP, & Swaine MD. 2002. Phenological differences in tree water use and the timing of tropical forest inventories: Conclusions from patterns of dry season diameter change. *Forest Ecology and Management* **171**, 261-274
- Bhattacharyya A, Eckstein D, Shah SK, & Chaudhary V. 2007. Analyses of climatic changes around Perambikum, South India, based on early wood mean vessel area of teak. *Current Science* **93**, 1159-1164.
- Bowyer JL, Haygreen JG, & Schmulsky R. 2003. *Forest Products and Wood Science : An Introduction. 4th Ed.* Iowa State Press. USA.
- D'arrigo R, Palmer J, Ummenhofer CC, Kyaw NN, & Krusic P. 2011. Three centuries of Myanmar monsoon climate variability inferred from teak tree rings. *Geophysical Research Letters* **38**(1), 1-5.
- Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Gunungkidul. 2012. <http://www.wisata.gunungkidulkab.go.id/sekilas-gunungkidul/>
- Departemen Kehutanan. 2007. *Statistik Kehutanan 2007*. http://www.dephut.go.id/files/V_6_0.pdf. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2012.
- Enters T. 2000. Site, technology and productivity of teak plantations in Southeast Asia. *Unasylva* **201**, 55-61.
- Kramer PJ & Kozlowski TT. 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press, New York.
- Kozlowski TT. 1982. Water supply and tree growth. I. Water deficits. *Forestry Abstracts* **43**, 57-99.
- Kozlowski TT, Kramer PJ & Pallardy SG. 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press, San Diego, CA.
- Lukmandaru G, Prasetyo VE, Sulistyio J, dan Marsoem SN. 2010. Sifat pertumbuhan kayu jati dari hutan rakyat Gunungkidul. *Prosiding Seminar "Hutan Kerakyatan Mengatasi Perubahan Iklim"*, Fakultas Kehutanan UGM. Jogjakarta. hlm. 79-86.
- Marsoem SN & Itoh T. 2000. Growth rate and growth ring in Mindi (*Melia azedarach* Linn) wood trees grown in Jogjakarta. *Proceeding of The Third International Wood Science Symposium*, November 1-2, Uji, Kyoto, Japan.
- Marsoem SN. 2004. Growth and properties of Meranti Merah (*Shorea selanica* Bl.) grown in Jogjakarta. *Proceeding of The 5th International Wood Science Symposium*. hlm. 257-262
- Nath CD, Dattaraja HS, Suresh HS, Joshi NV & Sukumar R. 2006. Patterns of tree growth in relation to environmental variability in the tropical dry deciduous forest at Mudumalai, southern India. *Journal of Biosciences* **31**(5), 651-669.
- Nocetti M, Rozenberg P, Chaix G & Macchioni N. 2011. Provenance effect on the ring structure of teak (*Tectona grandis* L. f.) wood by X-ray microdensitometry. *Annals of Forest Science*, **68** (8), 1375-1383.
- Pandey D & Brown C. 2000. Teak : a global overview: an overview of global teak resources and issues affecting their future outlook. *Unasylva* **201**, 3-13.
- Pemerintah Kabupaten Gunungkidul. 2012. <http://gunungkidulkab.go.id/home.php?mode=content&id=78>. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2012.
- Priya PB & Bhat KM. 1998. False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.f.) and the influence of environmental factors. *Forest Ecology and Management* **108**, 215-222.
- Priya PB & Bhat KM. 1999. Influence of rainfall, irrigation and age on the growth, periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). *IAWA Journal* **20**, 181-192.
- Pumijumng N. 2012. Teak tree ring widths: Ecology and climatology research in Northwest Thailand. *Journal of Science, Technology and Development* **31**(2), 165-174,
- Pumijumng N, Eckstein D, & Sass U. 1995. Tree-ring research on *Tectona grandis* in Northern Thailand. *IAWA Journal* **16**(4), 385-392.

- Purwanto RH & Oohata S. 2002. Estimation of biomass and net primary production in a planted teak forest in Madiun, East Java, Indonesia. *Forest Research Kyoto* **74**, 59-68.
- Rao KS & Dave YS. 1981. Seasonal variations in the cambial anatomy of *Tectona grandis* (Verbenaceae). *Nordic Journal of Botany* **1(4)**, 535-542.
- Rao KS & Rajput KS. 1999. Seasonal behavior of vascular cambial in teak (*Tectona grandis*) growth in moiste deciduous and dry deciduous forest. *IAWA Journal* **20(1)**, 85-93.
- Savidge RA. 1993. Formation of annual rings in trees, Dalam *Oscillations and Morphogenesis*. : Rensing L. (Ed.). Marcel Dekker Inc. New York. pp. 343-363.
- Shah SK, Bhattacharyya A & Chaudhary V. 2007. Reconstruction of June – September precipitation based on tree-ring data of teak (*Tectona grandis* L.) from Hoshangabad, Madhya Pradesh, India. *Dendrochronologia* **25**, 57-64.
- Sinha SK, Deepak MS, Rao RV, & Borgaonkar HP. 2011. Dendroclimatic analysis of teak (*Tectona grandis* L. f.) annual rings from two locations of peninsular India. *Current Science* **100(1)**, 84-88.
- Sulistyo J, Lukmandaru G, Prasetyo VE, & Marsoem SN. 2010. Karakteristik biomassa komponen pohon jati dari hutan rakyat di Gunungkidul. *Prosiding Seminar "Hutan Kerakyatan Mengatasi Perubahan Iklim"*, Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta. hlm. 124-130.
- Susila IWW. 2012. Model dugaan volume dan riap tegakan jati (*Tectona grandis* L.f) di Nusa Penida, Klungkung Bali. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* **9**, 165-178.
- Toledo M, Poorter L, Pena-Claros M, Alarcon A, Balcazar J, Leano C, Licona JC, Llanque O, Vroomans V, Zuidema P, & Bongers F. 2011. Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology* **99**, 254-264.
- Worbes M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees – a review. *IAWA Journal* **16**, 337-351.
- Worbes M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology* **87**, 391-403.
- Zobel B & Talbert J. 1984. *Tree Improvement*. John Wiley and Sons Inc, New York.
- Zweifel R, Item H, & Häsler R. 2000. Stem radius changes and their relation to stored water in stems of young Norway spruce trees. *Trees* **15**, 50-57.