
JURNAL METAMORFOSA
Journal of Biological Sciences
ISSN: 2302-5697
<http://ojs.unud.ac.id/index.php/metamorfosa>

**KAJIAN ANATOMI KAYU PADA TIGA EKOTIPE *Pinus merkusii* SUMATERA
DAN POTENSINYA SEBAGAI INDIKATOR PERUBAHAN IKLIM**

**WOOD ANATOMICAL STUDY AMONG THREE ECOTYPES OF *Pinus merkusii*
IN SUMATRA AND THE POTENTIAL AS CLIMATE CHANGE INDICATOR**

Yulia Sandri*¹, Tesri Maideliza¹, Mansyurdin¹, Rudi Febriamansyah²

¹ *Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Andalas, Kampus UNAND Limau Manis Padang, 25163*

² *Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus UNAND Limau Manis Padang, 25163*

*Email: zuliasandri@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan iklim global menjadi salah satu isu lingkungan penting yang marak dibicarakan saat ini. Variabilitas iklim dapat direkam melalui pertumbuhan pohon yang menghasilkan lingkaran tumbuh. Lingkaran tumbuh terbentuk karena adanya aktivitas dari kambium yang diteliti dalam kajian anatomi kayu. Di Sumatera, terdapat tiga ekotipe *Pinus merkusii* yaitu ekotipe Kerinci, Tapanuli dan Aceh yang dapat dibedakan secara morfologi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik anatomi 3 ekotipe kayu dan bagaimana potensinya sebagai indikator perubahan iklim. Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2014 sampai dengan Juni 2015 dengan mengoleksi sampel ekotipe Kerinci di Taman Nasional Kerinci Seblat, ekotipe Tapanuli di Tapanuli selatan dan ekotipe Aceh di Taman Nasional Gunung Leuser pada ketinggian 130 cm menggunakan teknik bor untuk sampel lingkaran tumbuh dan dipotong sedalam 5×5 cm untuk sampel anatomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekotipe Kerinci dan Tapanuli memperlihatkan batas *earlywood* dan *latewood* sehingga lingkaran tumbuh terlihat jelas, sedangkan pada ekotipe Aceh tidak jelas. Ekotipe Tapanuli memiliki diameter trakeid paling tebal dibandingkan ekotipe Aceh dan Kerinci. Ekotipe Kerinci, Aceh dan Tapanuli menunjukkan jari-jari empulur homoseruler dan tipe *uniseriate* dimana ekotipe Aceh memiliki jari-jari empulur paling panjang. Ekotipe Kerinci dan Tapanuli memiliki potensi sebagai indikator perubahan iklim karena menghasilkan lingkaran tumbuh yang jelas meskipun berkorelasi negatif, dimana ekotipe Tapanuli direkomendasikan untuk digunakan sebagai rujukan dalam studi dendrokronologi.

Kata kunci : Struktur anatomi, kayu, ekotipe Pinus merkusii, potensi, iklim

ABSTRACT

Recently, climate change is the one of most important environmental issue. Climate variability can be recorded by tree growing through the growth ring. Growth ring formed by cambial activity were examined in wood anatomy. In Sumatera, there are three ecotypes *Pinus merkusii*, namely ecotypes Kerinci, Tapanuli, and Aceh which can be distinguished morphologically. This study aims to knowing the wood anatomical characteristics of the three ecotypes and determine the potential as climate indicator. This study was conducted in October 2014 until June 2015. Sample of Kerinci ecotype was collected in Kerinci Seblat National Park, Tapanuli ecotype in Dolok Sibualbuali Natural Reserve and Aceh ecotype in Gunung Leuser National Park on a height of 130 cm using increment borer and cut on the main stem 5×5 cm for anatomical sample. Results from this study indicate that ecotype Kerinci and Tapanuli showed earlywood and latewood boundary exposing the clear growth ring, whereas in Aceh

ecotype unclear. Tapanuli ecotype have the thickest tracheid diameter than ecotype Kerinci and Aceh. Ecotypes of Kerinci, Tapanuli, and Aceh has homoceluler and uniseriate ray where Aceh ecotype have the longest ray. Furthermore, Kerinci and Tapanuli ecotype have potential as climate indicator eventhough showed negative correlation, that Tapanuli ecotype show the best result and recommended in dendrochronology study.

Key words : anatomical structure, wood, ecotypes of Pinus merkusii, potential, climate

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global menjadi salah satu isu lingkungan yang marak dibicarakan saat ini. Perubahan suhu di suatu area akibat perubahan iklim dapat memberikan efek yang nyata terhadap sistem biologi, fisika dan kimia yang saling bergantung dan berlangsung di bumi. Hal ini berdampak terhadap sumber daya alam (sumber air, hasil hutan, dan lain-lain), biodiversitas, jasa lingkungan dan termasuk terhadap perkembangan tumbuhan yang merupakan konsekuensi yang serius bagi ekosistem (Almedie, 2013; IPCC, 2001).

Pada dasarnya, iklim dapat mempengaruhi anatomi sel xilem. Dengan demikian beberapa bagian dari anatomi sel memiliki sifat potensial untuk mengetahui kronologi kejadian di masa lalu (DeSoto *et al.*, 2011). Sperry (2003) menambahkan bahwa salah satu analisis kuantitatif yang penting dari kajian anatomi kayu adalah analisa anatomi kayu terkait hubungannya dengan lingkaran tumbuh. Menurut Fonti *et al.* (2010), analisis kuantitatif anatomi xilem menyediakan informasi tentang lingkaran tumbuh, termasuk posisi sel, jumlah sel, ukuran sel, ukuran lumen, ketebalan dinding sel, dan rasio dinding sel terhadap lumen.

Di daerah subtropis terdapat beberapa karakter anatomi yang mempengaruhi formasi lingkaran tumbuh suatu pohon, yaitu ukuran sel, diameter lumen, ketebalan dinding sel. Xilem yang terlambat diproduksi pada musim tumbuh akan menyebabkan diameter sel berukuran kecil dengan dinding yang lebih tebal. Beberapa karakteristik ini sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air, pertumbuhan tunas, kerusakan pohon dan adanya variasi suhu (Wimmer, 2002; Novak *et al.*, 2013; Liang *et al.*, 2013).

Xu *et al.* (2013) meneliti tentang respon iklim terhadap karakteristik sel pada lingkaran

tumbuh *Picea crassifolia* yang menyimpulkan bahwa ketebalan dinding sel dan kepadatan kayu berkorelasi signifikan terhadap temperatur dengan nilai sebesar 0.71 dan berkorelasi negatif dengan curah hujan.

Pinus merkusii adalah satu-satunya jenis konifer yang dapat tumbuh secara alami di daerah tropika, persebarannya luas di Asia Tenggara termasuk Indonesia (Cooling, 1968). Grissino (1993) melaporkan bahwa Pinus merupakan genus yang banyak diteliti di daerah subtropis. Spesies dari genus ini terdistribusi sangat luas dan hidup pada beberapa variasi ketinggian.

Di Sumatera, tegakan pinus alam ditemukan di tiga daerah geografis yang berbeda, yaitu di Tapanuli, Kerinci, Aceh. Ketiga tipe *P. merkusii* memiliki karakteristik morfologi dan fisiologi yang berbeda. Berdasarkan perbedaan distribusi dan karakteristiknya, *P. merkusii* di Sumatera dikelompokkan menjadi tiga ekotipe, yaitu ekotipe Tapanuli, Kerinci dan Aceh. Oleh karena itu, kajian anatomi kayu *Pinus merkusii* ekotipe Kerinci, Tapanuli dan Aceh dan potensinya sebagai indikator perubahan iklim perlu dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik anatomi kayu *P. merkusii* ekotipe Tapanuli, Kerinci dan Aceh, serta mengetahui potensi *P. merkusii* ekotipe Kerinci, Tapanuli dan Aceh sebagai indikator perubahan iklim.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2014 hingga Juni 2015. Pengoleksian sampel dilakukan di tiga lokasi yaitu Resort Bukit Tapan, Taman Nasional Kerinci Seblat (S 02°03'632" dan E 101°17'206"); Cagar Alam Dolok Sibualbuali (N 01°33'56.8" dan E 099°15'32.5"); Taman Nasional Gunung Leuser (N 03°54'56.8" dan E 099°15'32.5").

Penelitian ini dilakukan dengan metode survey langsung di habitat *P. merkusii* ekotipe Tapanuli, Kerinci dan Aceh. Koleksi sampel kayu dilakukan dengan teknik bor. Pembuatan preparat dilakukan dengan metoda maserasi dan sayatan (Sass, 1958) menggunakan pewarna safranin 1%. Sampel disayat menggunakan mikrotom sorong pada tiga bidang kayu yaitu bidang transversal, radial, dan tangensial. Sampel kayu dimensi serat disediakan melalui teknik maserasi.

HASIL

Berdasarkan sampel *core* kayu yang telah dianalisis, diketahui bahwa dari tiga ekotipe yang dikoleksi, hanya dua ekotipe yang memperlihatkan perkembangan lingkaran tumbuh yang jelas, yaitu ekotipe Kerinci dan Tapanuli, sedangkan ekotipe Aceh tidak memperlihatkan perkembangan lingkaran tumbuh yang jelas karena banyaknya lingkaran tumbuh yang hilang (*missing ring*) seperti yang tampak pada Gambar 1.

Untuk memperkuat dugaan jelas/tidak jelasnya lingkaran tumbuh tersebut, maka dilanjutkan pengamatan anatomi. Pada Gambar 2 (sayatan transversal) tampak ekotipe Tapanuli dan Kerinci menunjukkan adanya batas *earlywood* dan *latewood* yang jelas, sehingga terbentuk lingkaran tumbuh yang jelas juga. Selain sayatan transversal, pengamatan anatomi juga dilakukan pada sayatan tangensial dan radial.

Sayatan Transversal

Pada sayatan transversal dapat dilihat struktur trakeid, *earlywood*, *latewood*, parenkim, jari-jari empulur dan saluran resin pada Gambar 2. Struktur trakeid ini hanya ditemukan pada *softwood*, sedangkan pada *hardwood* ditemukan adanya vessel. Menurut Haygreen dan Bowyer

(1989), sebagian besar volume kayu *softwood*, dimana 90-95% tersusun atas sel-sel panjang dan ramping yang disebut trakeid longitudinal. Trakeid tersebut memiliki panjang rata-rata 3-4 mm (± 100 kali ukuran diameternya).

Berdasarkan Gambar 2, dapat dibandingkan struktur anatomi tiga ekotipe *P. merkusii* pada sayatan transversal seperti tampak pada Tabel 1. Menurut García-Suárez *et al.* (2009) terdapat spesies pohon yang sensitif terhadap iklim dengan lebar lingkaran tumbuh yang dipengaruhi oleh curah hujan dan kelembaban tanah. Beberapa spesies lain juga ditemukan sensitif terhadap suhu maksimum dan temperatur tanah. Lebar lingkaran tumbuh dapat dipengaruhi berbagai faktor, diantaranya terkait dengan habitat, umur dan manajemen pohon. Rata-rata lebar lebar sel *earlywood* dan *latewood* ditunjukkan pada Gambar 3.

Sayatan Tangensial

Pada sayatan tangensial dapat diamati struktur jari-jari empulur. Tipe jari-jari ekotipe Kerinci, Tapanuli dan Aceh dapat dilihat pada Gambar 4. Selain data kualitatif, juga dilakukan pengukuran terhadap data kuantitatif pada sayatan tangensial yaitu jumlah deret sel yang terdapat pada lapisan jari-jari empulur, serta lebar dan tinggi jari-jari empulur. Perbandingan struktur anatomi tiga ekotipe *P. merkusii* pada sayatan tangensial dapat dilihat pada Tabel 2.

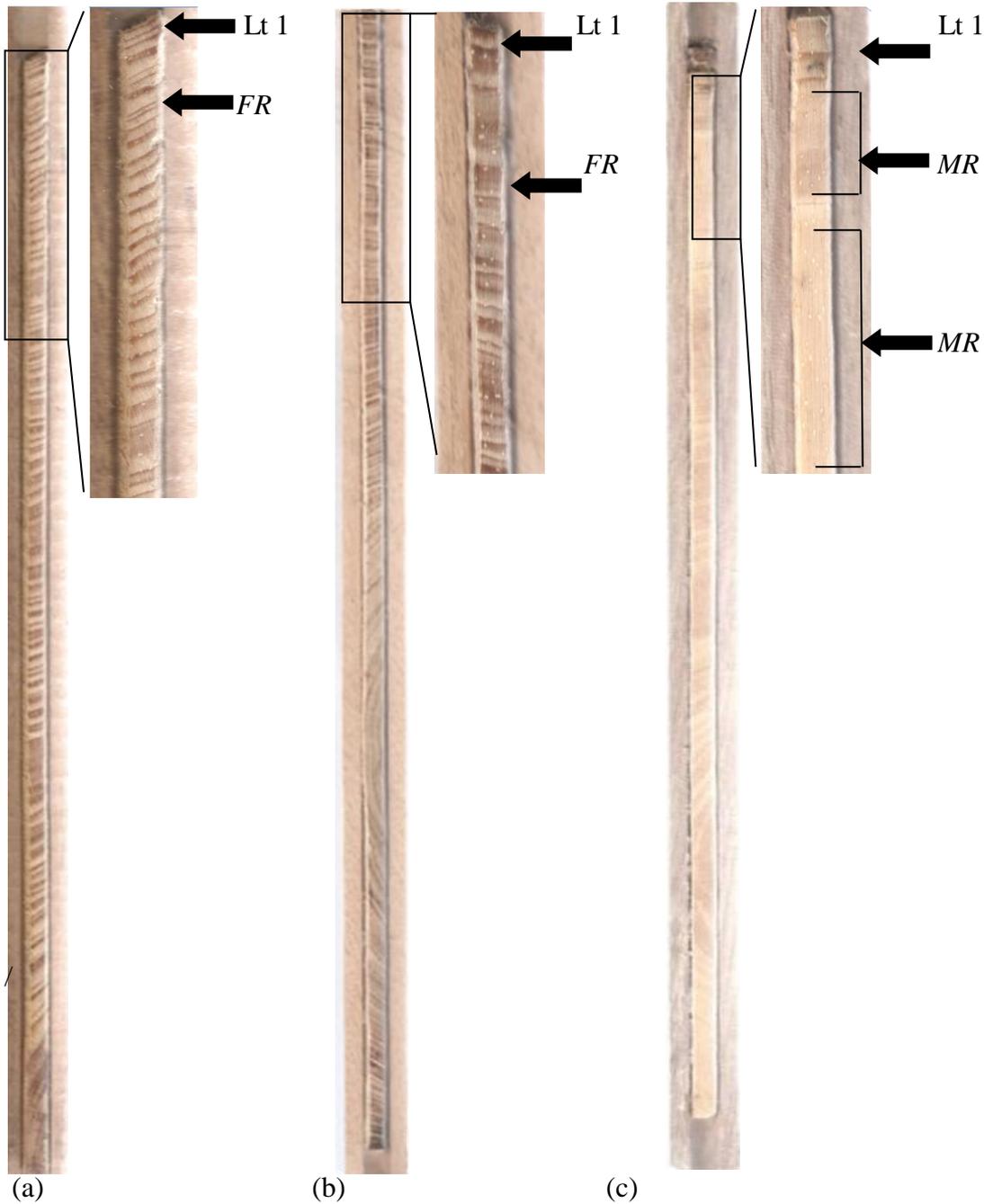
Selain data kualitatif, juga dilakukan pengukuran terhadap data kuantitatif pada sayatan tangensial yaitu jumlah deret sel yang terdapat pada lapisan jari-jari empulur, serta lebar dan tinggi jari-jari empulur. Perbandingan struktur anatomi tiga ekotipe *P. merkusii* pada sayatan tangensial dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan tiga ekotipe *P. merkusii* berdasarkan struktur anatomi pada sayatan transversal

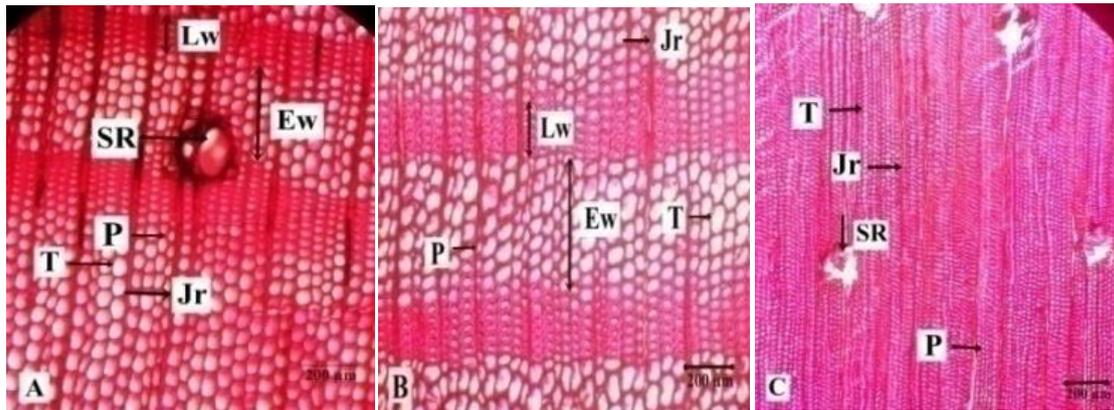
Karakter pembeda	Ekotipe		
	Kerinci	Tapanuli	Aceh
Keberadaan batas antara <i>earlywood</i> dan <i>latewood</i>	Ada	Ada	Tidak ada
Diameter sel trakeid (μm)	80,13	86,40	82,65
Ketebalan dinding sel <i>latewood</i> (μm)	4,85	5,01	-

Tabel 2. Perbandingan tiga ekotipe *P. merkusii* berdasarkan struktur anatomi pada sayatan tangensial

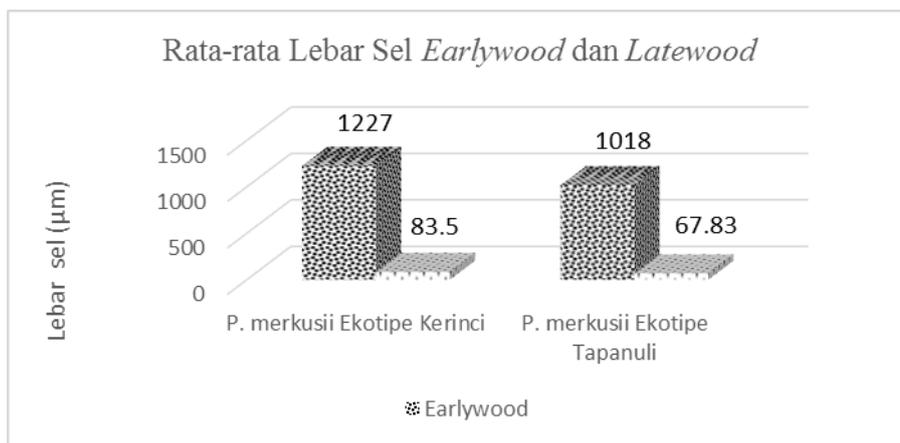
Karakter pembeda	Ekotipe		
	Kerinci	Tapanuli	Aceh
Tipe jari-jari empulur	<i>Uniseriate</i>	<i>Uniseriate</i>	<i>Uniseriate</i>
Jumlah deret sel pada lapisan jari-jari empulur	4 – 11 deret sel	3 – 11 deret sel	6 – 21 deret sel
Lebar jari-jari (µm)	24	17,8	18
Tinggi jari-jari (µm)	213,2	168	398,18



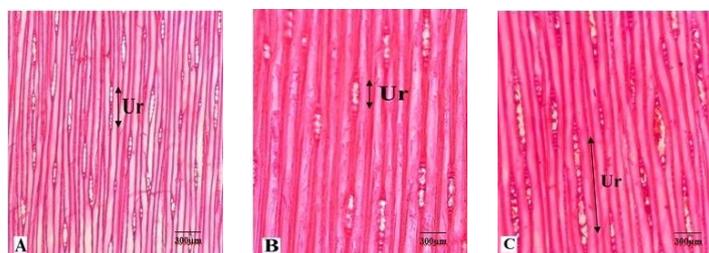
Gambar 1. Sampel *core* kayu *Pinus merkusii*; (a) Ekotipe Kerinci; (b) Ekotipe Tapanuli; (c) Ekotipe Aceh. Lt. Lingkar tumbuh; FR. *False ring*; MR. *Missing ring*



Gambar 2. Sayatan Transversal Kayu *P. merkusii*: (A) Ekotipe Kerinci; (B) Ekotipe Tapanuli; (C) Ekotipe Aceh, yang menunjukkan beberapa bagian, T. Trakeid, Ew. *Earlywood*, Lw. *Latewood*, Jr. Jari-jari Empulur, SR. Saluran Resin, P. Parenkim



Gambar 3. Lebar sel *earlywood* dan *latewood* pohon yang menghasilkan lingkaran tumbuh yang jelas : (a) *P. merkusii* ekotipe Kerinci dan (b) *P. merkusii* ekotipe Tapanuli



Gambar 4. Sayatan Tangensial Kayu *P. merkusii*: (A) Ekotipe Kerinci; (B) Ekotipe Tapanuli; (C) Ekotipe Aceh, Ur. *Uniseriate ray* yang memperlihatkan jumlah deret sel pada satu lapis sel jari-jari.

Sayatan Radial

Berdasarkan hasil sayatan transversal *P. merkusii* ekotipe Kerinci, Tapanuli dan Aceh dapat dilihat struktur sel baring pada Gambar 5. Meskipun jari-jari empulur ekotipe Kerinci dan

Tapanuli tampak sama, namun terdapat perbedaan diantara keduanya. Jari-jari empulur ekotipe Kerinci memiliki diameter yang lebih kecil dan lebih rapat dibandingkan ekotipe Tapanuli.



Gambar 5. Sayatan Radial Kayu *P. merkusii*: (A) Ekotipe Kerinci; (B) Ekotipe Tapanuli; (C) Ekotipe Aceh, SB. Sel baring.

PEMBAHASAN

Lingkar tumbuh yang hilang (*missing ring*) pada ekotipe Aceh diduga tidak memberikan respon terhadap iklim. Dugaan ini diperkuat berdasarkan fakta bahwa *P. merkusii* ekotipe Aceh yang dikoleksi di Aceh maupun di Kerinci tidak memperlihatkan lingkaran tumbuh secara jelas.

Hal ini didukung pengamatan anatomi, bahwa ekotipe Aceh tidak menunjukkan adanya batas *earlywood* dan *latewood* (Gambar 2), sehingga dapat dikatakan bahwa sifat tidak sensitif terhadap iklim yang dimiliki ekotipe Aceh bukan dipengaruhi faktor lingkungan, tetapi sifat genetik dari ekotipe itu sendiri. Dengan demikian, pada ekotipe Aceh tidak dapat diketahui pengaruh lingkaran tumbuh terhadap iklim.

Pada dasarnya, struktur anatomi termasuk karakter yang memberikan peranan besar sebagai indikator terjadinya perubahan iklim. Ekotipe Tapanuli memiliki diameter sel trakeid paling besar dan dinding sel trakeid yang lebih tebal dibandingkan ekotipe Kerinci dan Aceh. Menurut Docola *et al.* (2005), pada lingkaran tumbuh yang sempit, perubahan diameter dan tebal dinding sel trakeid terjadi secara mendadak, sedangkan pada lingkaran tumbuh yang lebar terjadi secara perlahan.

Jari-jari empulur pada sayatan tangensial dan radial (Gambar 4 dan 5) berpengaruh pada

sifat-sifat kayu. Jari-jari dapat menghambat perubahan dimensi pada arah radial, dan pengaruh ini didukung kenyataan bahwa pada pengeringan, penyusutan kayu pada arah radial lebih kecil daripada penyusutan kayu pada arah tangensial (Haygreen *et al.* 2003).

Jika dilihat dari jumlah sel baring, maka ekotipe Aceh memiliki jumlah paling banyak. Jumlah deret sel ekotipe Kerinci, Tapanuli dan Aceh berturut-turut yaitu : 3 – 5; 3 – 8; dan 9 – 10. Ketiga ekotipe ini memiliki tipe susunan jari-jari empulur *uniseriate* (Gambar 4). Menurut Iswanto (2008), umumnya kayu jenis *softwood* memiliki jari-jari dengan tipe *uniseriate* dan hanya sebagian kecil yang *biseriate*. Rata-rata jumlah volume jari-jari berkisar antara 5 – 30% dari total volume kayu.

Hubungan Karakteristik Anatomi *P. merkusii* dengan Curah Hujan dan Potensinya sebagai Indikator Perubahan Iklim

Karakteristik sel merupakan data pendukung yang sangat baik dalam pengukuran lebar lingkaran tumbuh. Dalam hal ini, salah satu karakter anatomi yang dapat dijadikan indikator perubahan iklim adalah ketebalan dinding sel (Fritts *et al.*, 1991; Liang *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2013). Ketebalan dinding sel diukur pada sayatan transversal, kemudian dikorelasikan dengan data curah hujan setempat.

Dalam analisis karakter anatomi dengan curah hujan, data yang digunakan adalah data *CWTI* (indeks ketebalan dinding sel) dari pengukuran tebal dinding sel *latewood* setiap lingkaran tumbuhnya. Pengukuran tersebut dimulai dari lingkaran tumbuh awal (dekat kulit kayu) hingga ke-30 karena data curah hujan yang tersedia untuk daerah Tapanuli adalah 30 tahun. Pengukuran tebal dinding sel *latewood* merujuk kepada penelitian Xu *et al.* (2013) yang menyimpulkan bahwa dalam merekonstruksi iklim data anatomi yang paling memungkinkan adalah tebal dinding sel pada *latewood*.

Ekotipe Kerinci

Pengukuran ketebalan dinding sel dilakukan mulai dari lingkaran tumbuh ke-3 hingga ke 32 terkait data iklim yang terbatas. Selanjutnya nilai indeks ketebalan dinding sel dikorelasikan dengan curah hujan untuk melihat respon dinding sel terhadap perubahan iklim (Gambar 6).

Nilai korelasi antara ketebalan dinding sel dengan curah hujan di daerah Kerinci (Gambar 6) menunjukkan $r = -0.077$, dimana $r_{tabel} = 0.306$ dengan $N = 30$. Nilai korelasi yang diperoleh menunjukkan ketebalan dinding sel yang terbentuk berkorelasi negatif dengan data curah hujan pada daerah Kerinci. Xu *et al.* (2013) melakukan penelitian dan menyimpulkan bahwa ketebalan dinding sel dan kepadatan kayu berkorelasi signifikan terhadap temperatur dengan nilai sebesar 0.71 dan berkorelasi negatif dengan curah hujan.

Ekotipe Tapanuli

Pengukuran ketebalan dinding sel untuk ekotipe Tapanuli dilakukan mulai dari lingkaran tumbuh awal (dekat kulit kayu) hingga ke-10 terkait data iklim yang tersedia selama 10 tahun (2004 – 2013). Selanjutnya nilai indeks ketebalan dinding sel dikorelasikan dengan curah hujan untuk melihat respon dinding sel terhadap perubahan iklim (Gambar 7).

Berdasarkan Gambar 7, hampir pada semua lingkaran tumbuh menunjukkan pola yang berbeda dengan curah hujan di daerah Tapanuli. Hal ini terlihat dengan nilai korelasi negatif ketebalan dinding sel dalam merespon iklim,

dimana $r = -0.250$, $r_{hitung} = 0.521$ dengan $N = 10$. Dengan demikian, ketebalan dinding sel *P. merkusii* ekotipe Tapanuli memberikan respon yang negatif terhadap iklim.

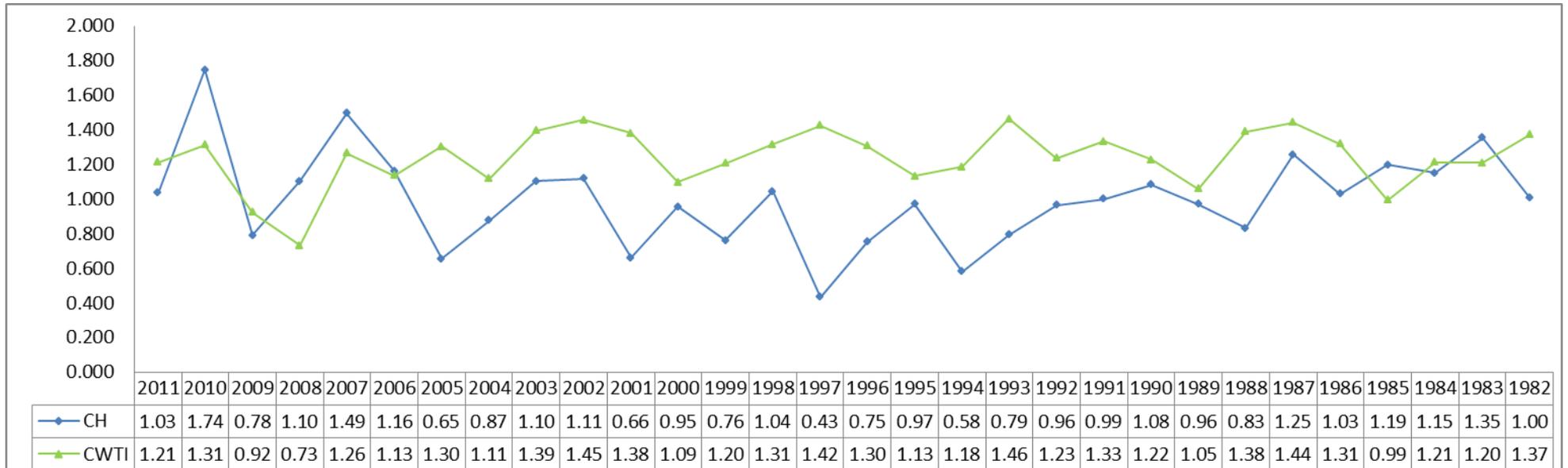
Menurut Deslauriers *et al.* (2008), trakeid *earlywood* dengan diameter yang lebih besar pada *P. leucodermis* ditemukan pada lingkaran tumbuh yang lebih lebar. Hal ini berarti diameter sel memiliki kontribusi besar dalam memperkuat data lebar lingkaran tumbuh. Sama halnya dengan ekotipe Kerinci, pada curah hujan yang rendah memperlihatkan dinding sel yang tebal yang disebabkan pendeknya deret sel yang terbentuk. Selain itu, hal tersebut juga dipengaruhi oleh faktor selain curah hujan, yaitu faktor tanah dan kandungan air.

KESIMPULAN

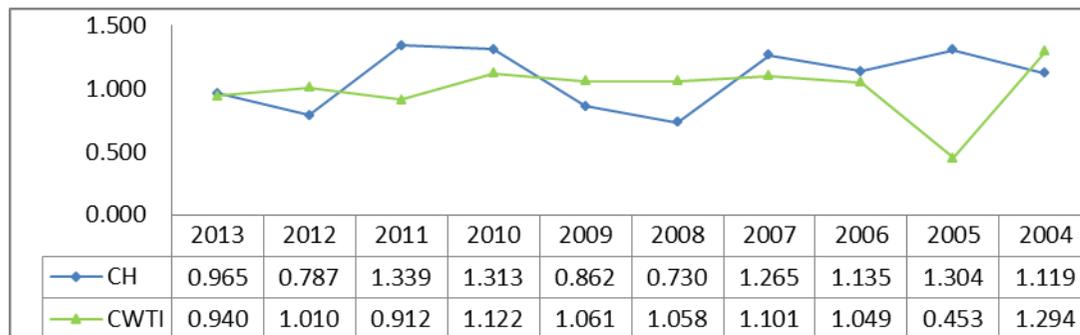
1. Ekotipe Tapanuli dan Kerinci menunjukkan adanya batas *earlywood* dan *latewood* sehingga memperlihatkan lingkaran tumbuh yang nyata, sedangkan pada ekotipe Aceh tidak nyata. Ekotipe Tapanuli, Kerinci dan Aceh komposisi jari-jari empulurnya homoseruler dan struktur *uniseriate* dengan jumlah deret sel berturut-turut yaitu 4 – 11 deret sel, 3 – 11 deret sel dan 6 – 21 deret sel.
2. Ekotipe Kerinci dan Tapanuli memiliki potensi sebagai indikator perubahan iklim karena menghasilkan lingkaran tumbuh yang jelas meskipun berkorelasi negatif, dimana ekotipe Tapanuli direkomendasikan untuk digunakan sebagai rujukan dalam studi dendrokronologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bapak Prof. Dr. Dahelmi, Bapak Prof. Dr. Syamsuardi, Bapak Dr. Chairul dan Ibu Dr. Nurainas yang telah memberikan saran, ide-ide untuk sempurnanya artikel ilmiah ini. Penelitian ini didukung sepenuhnya oleh Peer USAID Project No. 90- Cycle 1.



Gambar 6. Hubungan ketebalan dinding sel *P. merkusii* Ekotipe Kerinci dengan curah hujan selama 30 tahun (1982 – 2011). CH (Curah hujan), CWTI (*Cell Wall Thickness Indices*)



Gambar 7. Hubungan ketebalan dinding sel *P. merkusii* Ekotipe Tapanuli dengan curah hujan selama 10 tahun (2004 – 2013). CH (Curah hujan), CWTI (*Cell Wall Thickness Indices*)

DAFTAR PUSTAKA

- Almedie, F.A. 2013. *Impacts of Climate Change on Plant Growth, Ecosystem Services, Biodiversity and Potential Adaptation Measures*. Department of Biological and Environmental Science. University of Gethenborg. Sweden.
- [BMKG] Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. 2011. *Cuaca, Iklim dan Perubahan Iklim*. <http://www.BMKG.go.id>. Diakses pada tanggal 14 Juli 2014.
- Cooling, E.N.G. 1968. *Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics No.4. Pinus merkusii*. Department of Forestry. University of Oxford. Commonwealth Forestry Institute. England.
- Deslauriers, A., S. Rossi, and T. Anfodillo. 2008. Cambial Phenology, Wood Formation and Temperature Thresholds in Two Contrasting Years at High Altitude in Southern Italy. *Tree Physiol*, 28 : 863 – 871.
- DeSoto, L., M. De la Cruz, and P. Fonti. 2011. Intra-Annual Patterns of Tracheid Size in the Mediterranean Tree *Juniperus thurifera* as An Indicator of Seasonal Water Stress. *Can. J. For. Res.*, 41: 1280–1294.
- Doccola, J.J., P.M. Wild, E.J. Bristol and C. Taylor. 2005. *Arborjet : Conifer VS Hardwood Anatomy*. Arborjet Inc. USA.
- Fritts, H.C., E.A. Vaganov, I.V. Sviderskaya and A.V. Shashkin. 1991. Climatic Variation and Tree Ring Structure in Conifers: Empirical and Mechanistic Models of Tree-Ring Width, Number of Cells, Cell Size, Cell-Wall Thickness and Wood Density. *Clim. Res.* 1 : 97 – 116.
- Fonti, P., G. Arx, I. Garcia-Gonzalez, B. Eilmann, U. Sass-Klaassen, H. Gartner and D. Eckstein. 2010. Studying Global Change through Investigation of the Plastic Responses of Xylem Anatomy in Tree Rings. *New Phytol*, 185:42–53.
- Grissino-Mayer, H.D. 1993. An Updated List of Species Used in Tree-Ring Research. *Tree Ring Bulletin*, 53 : 17-43.
- Haygreen J.G., R. Shmulsky and J.L. Bowyer. 2003. *Forest Product and Wood Science, An Introduction*. The Iowa State University Press. USA.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change, the Scientific Basis*. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Iswanto, A.H. 2008. Struktur Anatomi Kayu Daun Lebar (Hardwood) dan Kayu Daun Jarum (Softwood). e-Repository USU. Sumatera Utara.
- Krisdianto. 2004. Anatomi Dan Kualitas Serat Tujuh Jenis Kayu Kurang Dikenal Dari Jawa Barat. <http://www.fordamof.org/files/pdf>. Diakses pada tanggal 05 Oktober 2015.
- Liang, I. Heinrich, S. Simard, G. Helle, I.D. Linan and T. Heinken. Climate Signals Derived from Cell Anatomy of Scotpine in Germany. 2013. *Tree Physiology*, 22 : 833-844.
- Novak, K., M. de Luis, and J. Raventos. 2013. *Climatic Signals in Tree-Ring Widths and Wood Structure of Pinus halepensis in Contrasted Environmental Conditions*. Springer Verlag. Berlin and Heidelberg.
- Sass, J. E. 1958. *Botanical Microtechnique*. 3rd ed. IOWA : Iowa State College Press.
- Sperry, J.S. 2003. Evolution of Water Transport And Xylem Structure. *Int. J. Plant. Sci.*, 164:115–127.
- Wimmer, R. 2002. Wood Anatomical Features in Tree-Rings as Indicators of Environmental Change. *Dendrochronologia* 20 (1) : 21-36.
- Xu, J. Lu, F. Bao, R. Evans and G.M. Downes. 2013. Climate Response of Cell Characteristics in Tree Rings of *Picea crassifolia*. *Holzforchung*; 67 (2) : 217 - 225.