

Biomasa dan Kandungan N pada Pelepah Tunasan Kelapa Sawit Selama Satu Siklus Tanam

S. Rahutomo, E. N. Ginting, M. Syarovy, dan M.A. Yusuf

ABSTRAK

Penyusunan pelepah tunasan di gawangan mati merupakan kultur teknis umum di perkebunan kelapa sawit. Pelepah tunasan berpotensi terdekomposisi in situ dan berperan dalam *input* bahan organik tanah maupun daur ulang (*recycling*) hara. Penelitian telah dilakukan untuk mengetahui biomasa dan kandungan N pada pelepah tunasan kelapa sawit umur 4 – 25 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam setiap pelepah tunasan, persentase bobot kering pada batang pelepah adalah 66.68%, nyata lebih tinggi dibanding pada helai daun (27.50%) dan lidi (5.81%). Biomasa pelepah tunasan kelapa sawit semakin besar sejalan dengan pertambahan umur tanaman dengan rerata selama satu siklus tanam adalah 10.24 ton ha⁻¹ tahun⁻¹. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa kadar N tertinggi terdapat pada helai daun (1.67%), berbeda nyata dibandingkan pada lidi (0.53%) dan batang pelepah (0.36%). Rerata kandungan N pelepah tunasan selama satu siklus tanam adalah 74.52 kg ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan porsi terbesar berasal dari helai daun.

Kata kunci: kelapa sawit, pelepah tunasan, nitrogen

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan tanaman tahunan dengan siklus tanam umumnya 25 tahun. Dalam satu siklus tanam tersebut, produksi biomasa kelapa sawit terbagi menjadi *below ground biomass* (perakaran dan pangkal batang bagian bawah) dan *above-ground biomass* (batang, pelepah, bunga jantan, tandan buah). Selama satu siklus tanam, sebagian dari organ-organ tanaman tersebut memberikan kontribusi terhadap kandungan bahan organik tanah dan daur

ulang (*recycling*) hara melalui proses dekomposisi. Dekomposisi batang dan perakaran utamanya terjadi setelah satu siklus tanam berakhir, yaitu setelah tanaman tua diremajakan (Haron dan Zakaria, 2000). Dekomposisi bunga jantan terjadi setelah bunga jantan melewati masa anthesis, mengering, dan gugur. Dekomposisi sebagian biomasa tandan buah yang dipanen dan ditransportasikan keluar dari sistem pertanaman dimungkinkan melalui aplikasi tandan kosong sawit (TKS) maupun kompos TKS ke lapangan, sementara dekomposisi pelepah utamanya berasal dari pelepah tunasan.

Penunasan pelepah tua pada tanaman kelapa sawit merupakan kultur teknis standar di perkebunan kelapa sawit. Pelepah tua berada di bagian bawah kanopi sehingga mendapatkan intensitas cahaya matahari lebih rendah (Awal *et al.*, 2004a; Awal *et al.*, 2004b) dan mengakibatkan proses fotosintesis berlangsung kurang optimum dibandingkan pada pelepah yang lebih muda. Standar praktis di lapangan umumnya menganjurkan jumlah pelepah segar yang perlu dipertahankan pada tanaman menghasilkan adalah 48-56 (umur 8 tahun) dan 40-48 (umur >8 tahun). Jumlah pelepah berlebihan menyebabkan partisi asimilat untuk pengisian buah kurang efektif, menyulitkan panen, berondolan tersangkut di ketiak pelepah, dan rentan serangan penyakit busuk buah akibat infeksi jamur *Marasmius palmivorus*. Sebaliknya, sex ratio yang rendah sering terjadi pada tanaman yang mengalami penunasan berlebihan (*over pruning*).

Studi tentang upaya pemanfaatan biomasa pelepah telah dilakukan misalnya sebagai bahan baku kertas (Wanrosli *et al.*, 2007; Goh *et al.*, 2012; Wanrosli *et al.*, 2004), produksi *fermentable sugars* (Zahari *et al.*, 2012; Lai dan Idris, 2013), bahan baku *board* (Hermawan *et al.*, 2001; Laemsak dan Okuma, 2000), produksi kompos (Erwan *et al.*, 2012) atau pakan ternak (Dahlan, 2000). Meskipun demikian, penanganan pelepah tunasan dengan disusun melajur di gawangan mati atau membentuk huruf “U”

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Suroso Rahutomo (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: srahutomo@yahoo.com

(U shape) di sekitar pangkal pohon merupakan praktek agronomis yang masih lebih umum dilakukan di perkebunan kelapa sawit. Biomasa pelepah tunasan di gawangan mati tersebut selanjutnya terdekomposisi in situ dan memiliki potensi kontribusi dalam peningkatan kadar bahan organik tanah (Haron *et al.*, 1998) dan daur ulang (*recycling*) hara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produksi biomasa dan potensi kontribusi hara N dari tunasan pelepah berbagai umur kelapa sawit menghasilkan selama satu siklus tanam.

BAHAN DAN METODE

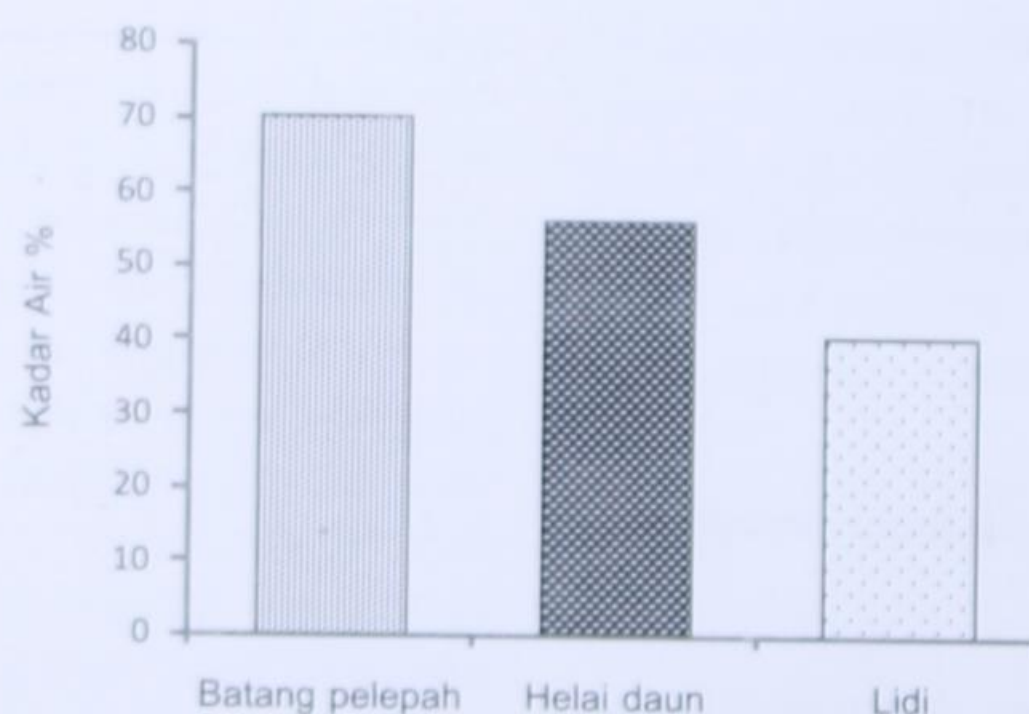
Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Aek Pancur, Deli Serdang, Sumatera Utara. Sampel pelepah tunasan diambil dari tanaman kelapa sawit DxP produksi Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). Karena keterbatasan ketersediaan tanaman pada umur tertentu, pengambilan sampel dilakukan pada tanaman dengan 11 umur berbeda pada rentang 4-25 tahun (umur 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 21, 23, dan 25 tahun). Pada setiap umur tanaman dipilih 3 pohon normal, kemudian dari setiap pohon normal ini diambil satu sampel pelepah tunasan. Setiap pelepah tunasan kemudian dibagi menjadi 3 bagian, yaitu batang pelepah, lidi, dan daun. Penimbangan bobot kering

dan analisis kada rN dilakukan setelah pengeringan dalam oven pada suhu 85°C selama 48 jam. Metode yang digunakan untuk analisis kadar N adalah metode Kjeldahl. Total bobot kering pelepah tunasan dan potensi mineralisasi N ha⁻¹ kemudian dihitung dengan asumsi jumlah pelepah tunasan sebanyak 24 pelepah pohon⁻¹ (Aholoukpè *et al.*, 2013) dan kerapatan tanam 132 pohon ha⁻¹ (PPKS, 2013). Analisis statistik dilakukan menggunakan program SAS versi 9.0.

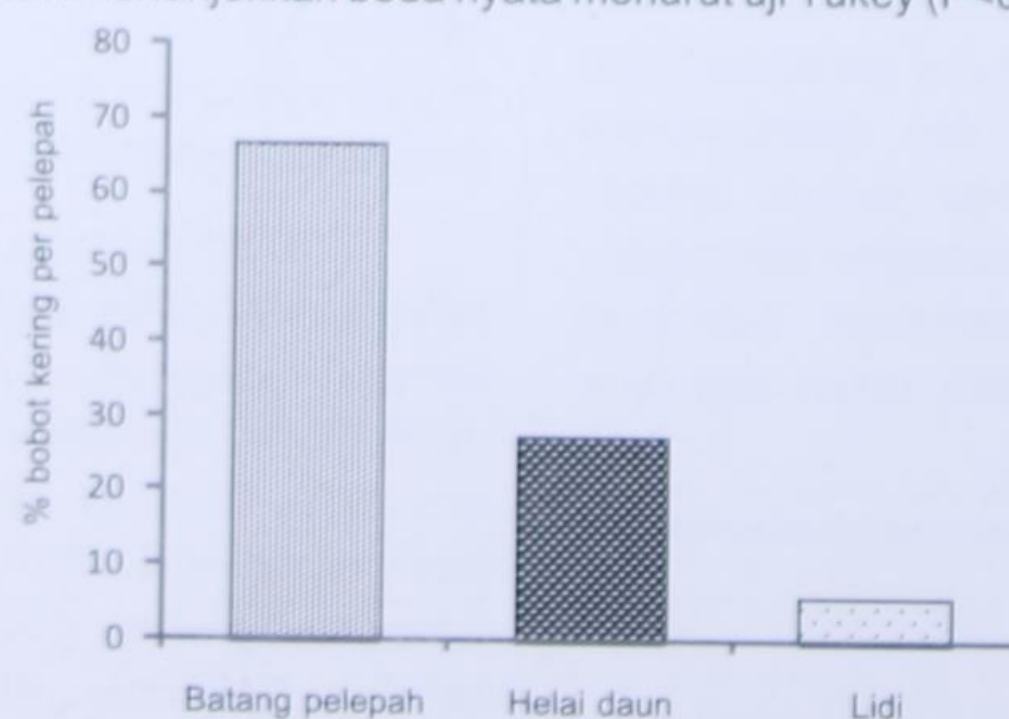
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan air dan bobot kering

Rerata kadar air pada batang pelepah adalah 70.20%, nyata lebih tinggi dibandingkan pada helai daun (56.31%) dan lidi (40.39%). Hasil pengukuran bobot kering menunjukkan bahwa dalam setiap pelepah, persentase bobot kering terbesar terdapat pada batang pelepah (66.68%), nyata lebih tinggi dibanding pada helai daun (27.50%) dan lidi (5.81%). Hasil pengukuran kadar air dan persentase bobot kering bagian-bagian pelepah terdapat pada Gambar 1 dan 2. Kadar air dan persentase bobot kering bagian-bagian pelepah ini relatif tetap untuk setiap umur tanaman.



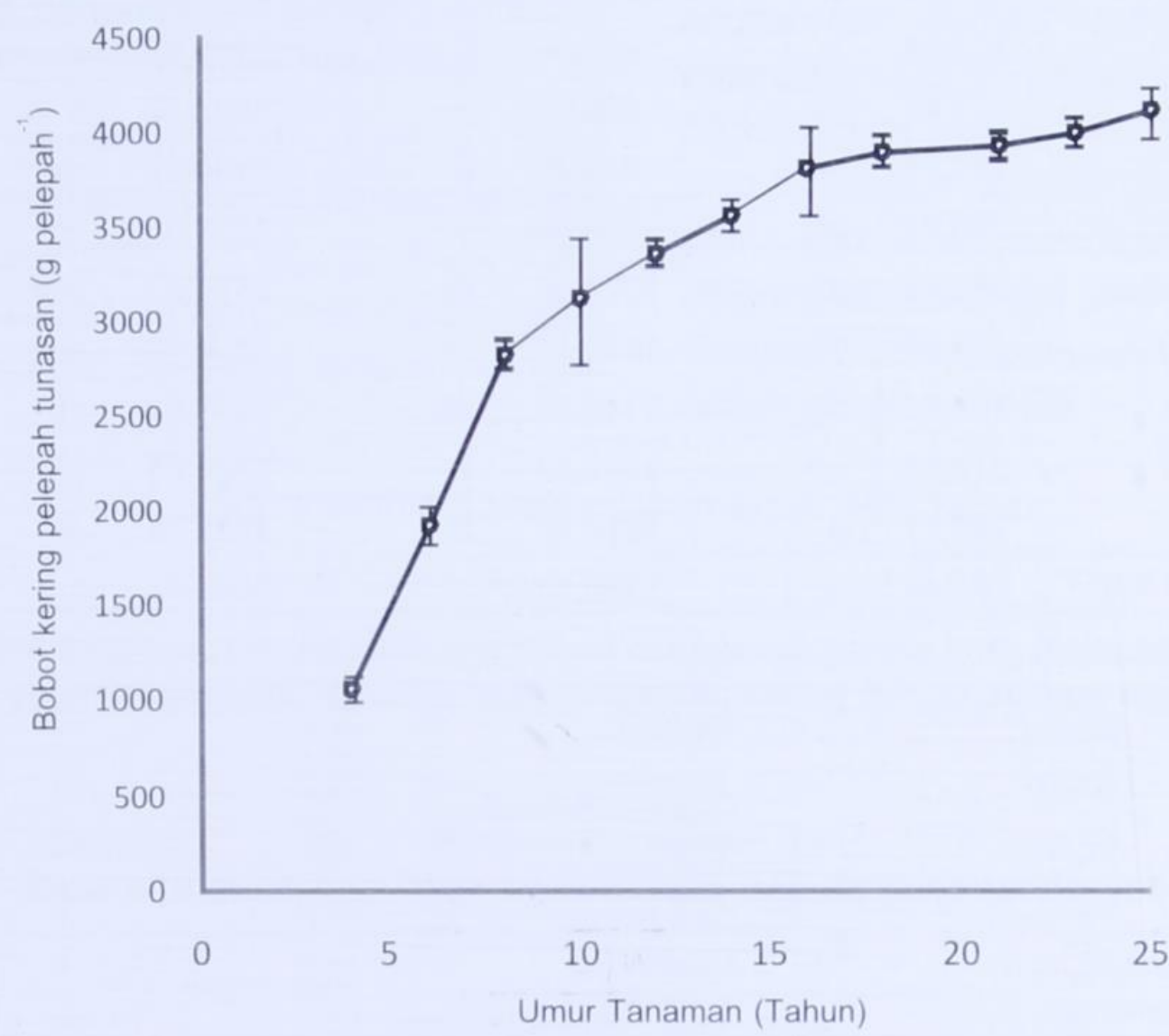
Gambar 1. Kadar air bagian-bagian pelepah; error bar adalah deviasi standar, huruf berbeda pada grafik menunjukkan beda nyata menurut uji Tukey ($P < 0.05$).



Gambar 2. Persentase bobot kering bagian-bagian pelepah terhadap total satu pelepah; error bar adalah deviasi standar, huruf berbeda pada grafik menunjukkan beda nyata menurut uji Tukey ($P < 0.05$).

Semakin bertambah umur tanaman kelapa sawit, bobot kering pelepah tunasan semakin meningkat. Hal ini berkaitan dengan pertumbuhan tanaman sehingga batang pelepah, lidi, maupun helai daun memiliki dimensi yang semakin besar. Secara umum pertambahan bobot kering pelepah tunasan dapat dibagi menjadi 3 fase periode umur tanaman (Gambar 3). Fase pertama yaitu antara umur 4 hingga

8 tahun, bobot kering pelepah mengalami peningkatan paling tajam. Pada fase kedua yaitu antara umur 8 hingga 18 tahun, bobot kering pelepah masih mengalami peningkatan meskipun tidak setajam peningkatan pada fase sebelumnya. Pada fase terakhir yaitu antara 18 hingga 25 tahun, bobot kering tunasan pelepah hanya sedikit mengalami peningkatan bahkan cenderung mendatar.



Gambar 3. Bobot kering pelepah tunasan (g pelepah⁻¹) menurut umur tanaman, *error bar* adalah deviasi standar.

Berdasarkan penghitungan bobot kering tunasan pelepah per ha, biomasa pelepah tunasan terendah adalah pada umur 4 tahun (3.40 ton ha⁻¹) dan tertinggi dicapai pada umur 25 tahun (12.98 ton ha⁻¹). Rerata bobot kering pelepah tunasan selama satu siklus tanam pada tanaman menghasilkan (4-25 tahun) adalah 10.24 ton ha⁻¹ tahun⁻¹. Hasil pengukuran ini lebih tinggi dibandingkan nilai bobot kering pelepah tunasan yang dilaporkan Corley dan Tinker (2003) namun lebih rendah dari data yang dinyatakan oleh Yusoff (2006). Corley dan Tinker (2003) menyatakan bahwa bobot kering pelepah tunasan untuk tanaman menghasilkan adalah 9 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ pada kerapatan tanam 143 pohon ha⁻¹, sementara Yusoff (2006) menyatakan bahwa bobot pelepah tunasan pada kelapa sawit menghasilkan adalah 11.6 ton ha⁻¹. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan perbedaan varietas yang digunakan dalam penelitian, setiap varietas memiliki karakter produksi biomasa pelepah berbeda (Lamade dan Bouillet, 2005).

Kadar dan kandungan Nitrogen

Kadar N pada helai daun berbeda dibandingkan pada lidi dan batang pelepah (Gambar 4). Rerata kadar N tertinggi terdapat pada helai daun (1.67%), berbeda nyata dibandingkan pada lidi (0.53%) dan batang pelepah (0.36%). Hasil ini sejalan dengan beberapa studi lain yang menyebutkan bahwa kandungan N pada daun lebih tinggi dibandingkan pada batang pelepah seperti dirangkum pada Tabel 2. Meskipun demikian, kadar N baik pada daun maupun batang pelepah dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan data pada Tabel 2. Unsur N merupakan unsur mobiledalam jaringan tanaman, sehingga N ditranslokasikan dari organ tanaman yang mengalami senescence (penuaan) ke jaringan yang lebih muda (Goh dan Hardter, 2003). Hal ini menjelaskan kandungan N pada helai daun dan batang pelepah tunasan yang dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan data kandungan N

pada daun dan batang pelepah yang diambil dari pelepah ke-17 maupun total gabungan dari seluruh pelepah pada Tabel 2.

Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan N pada helai daun sekitar dua kali kandungan N pada batang pelepah meskipun bobot kering helai daun

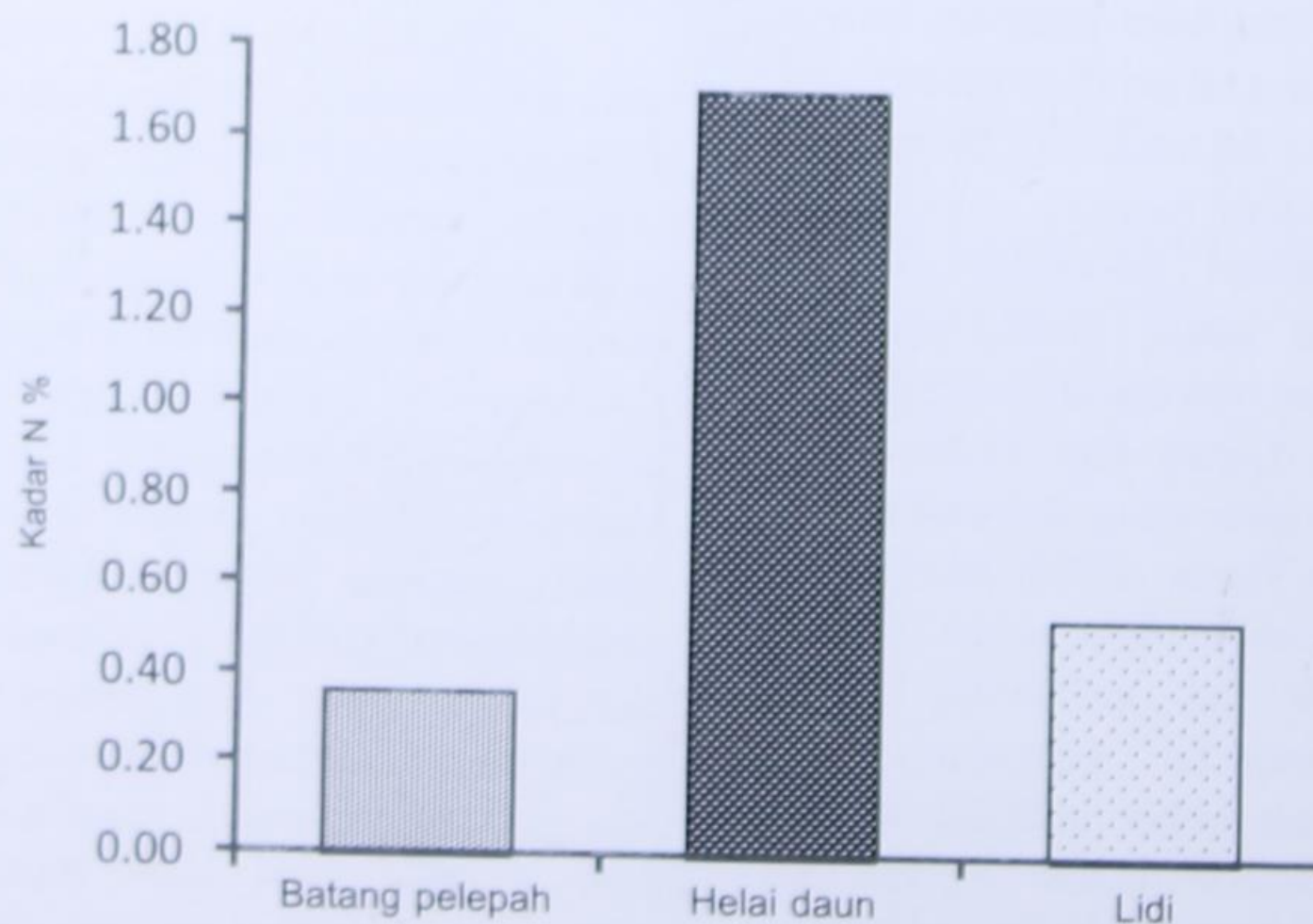
Tabel 1. Bobot kering pelepah tunasan kelapa sawit umur 4-25 tahun.

UmurTan aman (tahun)	Bobot kering (g pelepah ⁻¹)						Total bobot kering pelepah			
	Batang Pelepah		Lidi		Helai Daun		Bobot per pelepah (g)		Bobot per ha (ton)	
4	754,53	e	54,04	c	265,24	g	1073,82	G	3,40	g
6	1274,25	f	162,68	b	499,54	f	1936,47	F	6,13	f
8	1978,98	d	177,42	ab	666,23	e	2822,63	E	8,94	e
10	2098,39	cd	181,37	ab	841,16	d	3120,92	de	9,89	de
12	2189,93	bcd	190,41	ab	974,70	c	3355,04	cd	10,63	cd
14	2330,85	abcd	191,13	ab	1027,89	bc	3549,87	bcd	11,25	bcd
16	2528,91	abc	199,57	ab	1072,11	abc	3800,58	abc	12,04	abc
18	2579,62	abc	203,02	ab	1110,86	ab	3893,51	ab	12,33	ab
21	2571,10	abc	212,23	ab	1142,33	a	3925,65	ab	12,44	ab
23	2610,91	ab	224,37	a	1151,50	a	3986,78	ab	12,63	ab
25	2701,74	a	236,45	a	1160,52	a	4098,71	a	12,98	a

Ket. : - Huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata menurut uji Tukey (P<0.05).
- Bobot kering total per ha dihitung dari jumlah pelepah tunasan sebanyak 24 pelepah per pohon dan populasi 132 pohon ha .

Tabel 2. Data kadar N pada batang pelepah dan daun kelapa sawit dari beberapa studi.

Sumber	Umur tanaman	Kadar N (%)		Keterangan
		Daun	Batang Pelepah	
Haron <i>et al.</i> , 2000b	18 months	2.07	0.42	Seluruh pelepah
Haron <i>et al.</i> , 2000a	-	2.66	0.44	Pelepah ke -17
Haron <i>et al.</i> , 1999	23 years	2.18	0.45	Seluruh pelepah (40 pelepah), tanpa daun tombak.
Sunitha and Varghese, 1999	-	2.53	0.27	-



Gambar 4. Kadar N pada bagian-bagian pelepah; *error bar* adalah deviasi standar, huruf berbeda pada grafik menunjukkan beda nyata menurut uji Tukey (P<0.05).

lebih rendah dibandingkan bobot kering batang pelepah. Hal ini berkaitan dengan kadar N pada helai daun yang lebih tinggi, yaitu sekitar empat kali kadar N pada batang pelepah. Sebaliknya meskipun kadar N pada lidi lebih tinggi dibandingkan pada batang pelepah, namun bobot kering lidi jauh lebih rendah dibandingkan bobot kering batang pelepah sehingga kandungan N pada batang pelepah lebih tinggi dibandingkan kandungan N pada lidi. Dengan demikian, pada saat dekomposisi pelepah tunasan, mineralisasi N utamanya berasal dari helai daun.

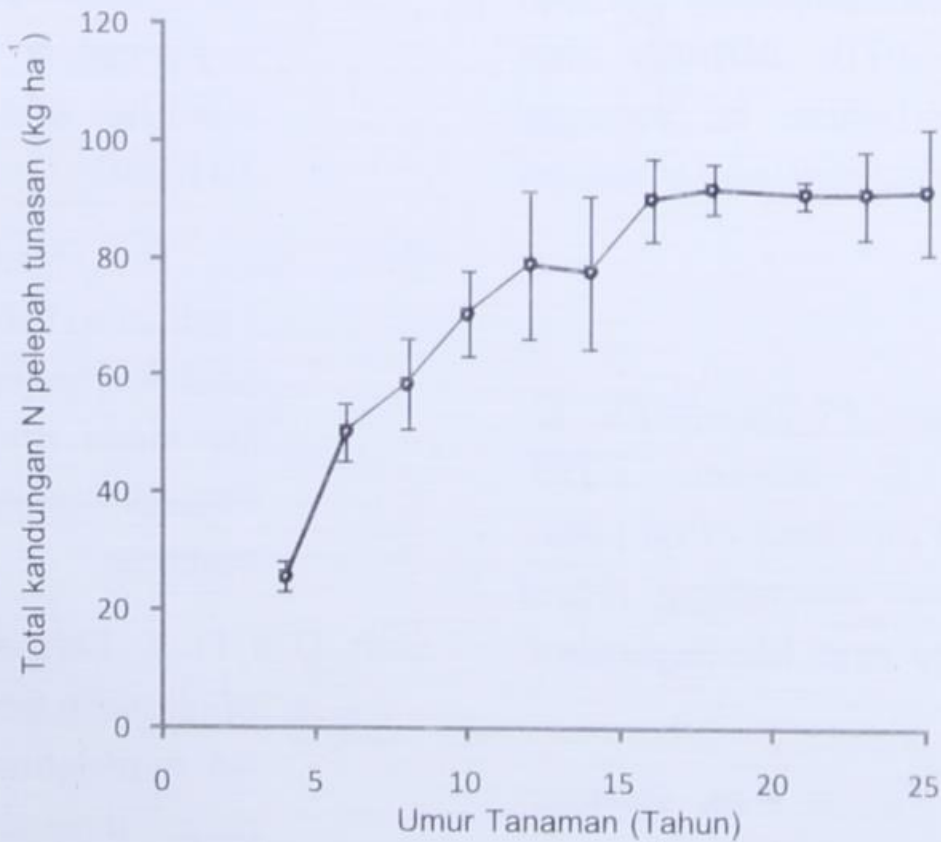
Gambar 5 menunjukkan bahwa total kandungan N pada pelepah tunasan terendah terdapat pada umur 4 tahun, yaitu 25.93 kg ha⁻¹. Total kandungan N ini secara umum meningkat tajam hingga tanaman berumur 16 tahun sejalan dengan

peningkatan bobot kering, namun setelah itu relatif tetap di sekitar 90 kg ha⁻¹ hingga tanaman berumur 25 tahun. Rerata kandungan N pelepah tunasan selama satu siklus tanam pada tanaman menghasilkan (4-25 tahun) adalah 74.52 kg ha⁻¹ tahun⁻¹. Nilai rerata ini lebih rendah dari nilai kandungan N pada pelepah tunasan yang dilaporkan oleh Sung (2011) sebesar 150,3 kg N ha⁻¹ tahun⁻¹ atau oleh Moradi (2012) sebesar 138 kg N ha⁻¹ tahun⁻¹. Faktor yang menyebabkan perbedaan nilai rerata ini adalah metode penghitungan yang digunakan. Dalam penelitian ini kandungan N dihitung berdasarkan persentase N dan bobot biomasa pada masing bagian pelepah (batang, helai daun, dan lidi), sementara pada penelitian sebelumnya kandungan N dihitung berdasarkan satu nilai persentase N dikalikan dengan biomasa pelepah tunasan tanpa memisahkan batang, helai daun lidi.

Tabel 3. Kandungan N pada pelepah tunasan kelapa sawit umur 4-25 tahun

Umur Tanaman (tahun)	Kandungan N per pelepah (g)						Total N pada pelepah tunasan			
	Batang Pelepah		Lidi		Helai Daun		Per Pelepah (g)		Per ha (kg)	
4	2,85	b	0,35	b	4,98	e	8,18	d	25,93	d
6	5,32	ab	1,18	a	9,51	de	16,01	c	50,70	c
8	6,40	ab	0,82	ab	11,34	cd	18,55	bc	58,78	bc
10	8,18	a	0,85	ab	13,29	bcd	22,32	abc	70,72	abc
12	8,46	a	0,91	ab	15,65	abc	25,01	ab	79,23	ab
14	7,46	ab	1,05	ab	16,12	abc	24,62	ab	78,00	ab
16	9,16	a	1,15	a	18,19	a	28,51	a	90,31	a
18	9,73	a	0,97	ab	18,35	a	29,06	a	92,06	a
21	7,97	a	1,10	a	19,69	a	28,76	a	91,12	a
23	8,88	a	1,03	ab	18,90	a	28,81	a	91,27	a
25	10,09	a	1,28	a	17,56	ab	28,93	a	91,65	a

Ket. : - Huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata menurut uji Tukey (P<0.05).
- Total kandungan N ha-1 dihitung dari jumlah pelepah tunasan sebanyak 24 pelepah pohon-1 dan populasi 132 pohon ha-1.



Gambar 5. Total kandungan N pada tunasan pelepah (kg ha⁻¹) menurut umur tanaman, error bar adalah deviasi standar.

Potensi mineralisasi N dari pelepah tunasan sebanyak 74.62 kg ha⁻¹ tahun⁻¹ ini kurang lebih setara dengan 162.22 kg urea. Meskipun demikian, tidak semua N dari pelepah tunasan ini dapat dimanfaatkan kelapa sawit. Tanaman penutup tanah di sekitar tumpukan pelepah kemungkinan juga menyerap N dari proses dekomposisi pelepah. Selain itu, kelapa sawit umumnya ditanam pada wilayah dengan curah hujan yang tinggi, sehingga potensi kehilangan N melalui run off cukup tinggi (Banabas *et al.*, 2008a; Banabas *et al.*, 2008b). Dengan demikian, sebagian N dari dekomposisi pelepah tunasan ini berpotensi hilang melalui proses *run off*. Penelitian lanjutan masih diperlukan untuk mengetahui jumlah N dari dekomposisi pelepah tunasan yang dapat diserap tanaman kelapa sawit dan secara langsung memberi kontribusi pada pertumbuhan dan produksi kelapa sawit selama satu siklus tanam.

KESIMPULAN

Terdapat 3 fase pertambahan bobot kering pelepah tunasan menurut umur tanaman, yaitu fase pertama (4-8 tahun) dengan peningkatan bobot kering paling tajam, fase kedua (8-18 tahun) dengan peningkatan bobot kering tidak setajam pada fase pertama, dan fase ketiga (18-25 tahun) dengan bobot kering yang relatif tetap. Rerata biomasa pelepah tunasan selama satu siklus tanam pada penelitian ini adalah 10.24 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan rerata kandungan N sebesar 74.52 kg ha⁻¹ tahun⁻¹. Porsi terbesar biomasa pelepah tunasan berasal dari bagian batang pelepah, sementara porsi terbesar kandungan N berasal dari bagian helai daun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Heinz Stichnote dan Frank Schuchardt dari *Johann Heinrich von Thünen Institute (vTI)*, Jerman atas diskusi selama pelaksanaan penelitian ini sebagai bagian dari studi *life cycle assessment* pada kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Aholoukpè, H., B. Dubos, A. Flori, P. Deleporte, G. Amadji, J.L. Chotte, D. Blavet. 2013. Estimating aboveground biomass of oil palm: Allometric equations for estimating frond biomass. *Forest Ecology and Management*. 292: 122-129.
- PPKS. 2013. Areal Statement Kebun Aek Pancur. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan
- Awal, M. A., W. Ishak, J. Endan, and M. Haniff. 2004a. Determination of Specific Leaf Area and Leaf Area-Leaf Mass Relationship in Oil Palm Plantation. *Asian Journal of Plant Sciences*. 3(3): 264-268.
- Awal, M. A., W. Ishak, J. Endan, and M. Haniff. 2004b. Regression Model for Computing Leaf Area and Assesment of Total Leaf Area Variation with Frond Ages in Oil Palm. *Asian Journal of Plant Sciences*. 3(5): 642-646.
- Banabas, M., M.A. Turner, D.R. Scotter, and P.N. Nelson. 2008a. Losses of nitrogen fertilizer under oil palm in Papua New Guinea: 1. Water balance, and nitrogen in soil solution and runoff. 46: 332-339.
- Banabas, M., M.A. Turner, and D.R. Scotter. 2008b. Losses of nitrogen fertilizer under oil palm in Papua New Guinea: 2. Nitrogen transformations and leaching, and a residence time model. 46: 340-347.
- Corley, R.H.V and P.B. Tinker. 2016. *The Oil Palm*: 5th Edition. Blackwell Science Ltd.
- Dahlan, I. 2000. Oil palm frond, a feed for herbivores. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 13(Supplement July 2000 C): 300-303.
- Erwan, M. R. Ismail, H. M. Saud, S. H. Habib, S. Siddiquee, and H. Kausar. 2012. Physical, chemical and biological changes during the composting of oil palm frond. *African Journal of Microbiology Research*. 6(19):4084-4089.
- Goh, K.J. and R. Härdter. 2003. General oil palm nutrition. In: T. Fairhurst and R. Hardter (eds). *Oil palm: Management for large and sustainable yields*. Potash & Phosphate Institute and International Potash Institute: 191-230
- Goh, K.J., R. Härdter, and T. Fairhurst. 2003. Fertilizing for maximum return. In: T. Fairhurst and R. Hardter (eds). *Oil palm: Management for large and sustainable yields*. Potash & Phosphate Institute and International Potash Institute:
- Goh, C.S, H. T. Tan, and K.T. Lee. 2012. Pretreatment of oil palm frond using hot compressed water: An evaluation of compositional changes and pulp digestibility using severity factors. *Bioresource Technology*. 110:662-669.

- Haron, K., P.C. Brookes, J.M. Anderson, Z.Z. Zakaria. 1998. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantation, West Malaysia. *Soil Biology and Biochemistry*. 30 (5): 547-552.
- Haron, K., Z. Zakaria, and J.M. Anderson. 1999. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in a mature plantation. I. Above ground biomass. *Journal of Oil Palm Research*. 11(1):23-32.
- Haron, K., Z. Zakaria, and J.M. Anderson. 2000a. Decomposition processes and nutrient release pattern of oil palm residues. *Journal of Oil Palm Research*. 12(1):46-64.
- Haron, K., Z. Zakaria, and J.M. Anderson. 2000b. Nutrient Cycling in an Oil palm Plantation: The effects Of residue Management Practices During Replanting on Dry matter And nutrient Uptake of Young palms. *Journal of Oil Palm Research*. 12(2):29-37.
- Hermawan, D., B. Subiyanto, and S. Kawai. 2001. Manufacture and properties of oil palm frond cement-bonded board. *Journal of Wood Science*. 47:208-213.
- Lai, L. W., and A. Idris. 2012. Disruption of oil palm trunks and fronds by microwave-alkali pretreatment. *BioResources*. 8(2):2792-2804
- Laemsak, N and M. Okuma. 2000. Development of boards made from oil palm frond II: properties of binderless boards from steam-exploded fibers of oil palm frond. *Journal of Wood Science*. 46:322-326.
- Lamade, E and J.P. Bouillet. 2005. Carbon storage and global change: the role of oil palm. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. 12(2):154-160.
- Moradi, A., C.T.B. Sung, G. K. Joo, A. H. M. Hanif, and C. F. Ishak. 2012. Evaluation four soil conservation practices in a non-teraced oil palm plantation. *Agronomy Journal*. 104:1727-1740.
- Sung, C.T.B. 2016. Availability, use, and removal of oil palm biomass in Indonesia. Working paper prepared for the International Council on Clean Transportation. University Putra Malaysia.
- Sunitha, S and P.T. Varghese. 1999. Composting of oil palm wastes for efficient recycling of nutrients in palm plantations. *Planter*. 75:677-681.
- Wanrosli, W.D., K.N. Law, Z. Zainudin, and R. Asro. 2004. Effect of pulping variables on the characteristics of oil-palm frond-fiber. *Bioresource Technology*. 93:233-240.
- Wanrosli, W.D., Z. Zainudin, K.N. Law, and R. Asro. 2007. Pulp from oil palm fronds by chemical processes. *Industrial Crops and Products*. 25:89-94.
- Yusoff, S. 2006. Renewable energy from palm oil - innovation on effective utilization of waste. *Journal of Cleaner Production*. 14:87-93.
- Zahari, M.A.K.M., M. R. Zakaria, H. Ariffin, M. N. Mokhtar, J. Salihon, Y. Shirai, and M. A. Hassan. 2012. Renewable sugars from oil palm frond juice as an alternative novel fermentation feedstock for value-added products. *Bioresource Technology*. 110:566-571.