

PEMANFAATAN STEEL SLAG INDONESIA DI BIDANG PERTANIAN

Utilization of Indonesian Steel Slag in Agriculture

Suwarno

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian
Institut Pertanian Bogor Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Telp.: (0251) 8629360, HP: 08128701261
Email: suwarno_ipb@yahoo.com

ABSTRACT

Steel slag is by-product formed in the process of steel manufacturing. In Europe, USA, Japan, China, Korea, and Hawaii steel slag has been utilized in agriculture as a liming material for improving acid soil or as Si source for paddy rice and sugar cane plants. Currently, Indonesia produces annually about 540,000 ton of electric furnace (EF) – one kind of steel slag; however none of this is being used in agriculture. Results of researches indicated that Indonesian steel slag could be utilized as a liming material, Si source, as well as peat soil amendment. As a liming material, effect of Indonesian steel slag on growth of plant was slightly better than those of calcite and dolomite. In combination with phosphatic guano, Indonesian steel slag increased effectiveness of phosphatic guano for direct application as P fertilizer. Phosphatic guano was significantly more effective when it was combined with steel slag than be combined with dolomite or calcite. As Si source for paddy rice plant, Indonesian steel slag improved growth and yield of paddy rice both grown on mineral soil containing low available Si on peat soil. The effect of Indonesian steel slag on paddy rice grown on peat soil was significantly better than that of on mineral soil. As peat soil amendment, Indonesian steel slag enhanced growth and bole volume of Acacia cracicarpa grown on peat soil.

Keywords: agriculture, Indonesian steel slag, utilization

PENDAHULUAN

Steel slag (terak baja) adalah produk sampingan yang terbentuk dalam proses pembuatan baja. Secara garis besar, proses pembuatan baja dibagi menjadi tiga proses, yaitu: proses pembuatan besi, proses pembuatan baja, dan proses pemberian bentuk produk (Umegaki, 1986; Anon., 1994). Berdasarkan proses tersebut, *steel slag* dikelompokkan atas *blast furnace slag (BF slag)* dan slag pembuatan baja (*steel-making slag*) (Washimi, 1986; Anon, 1996). Karena *BF slag* diproduksi dalam proses pembuatan besi, maka slag ini disebut juga *slag* pembuatan besi. Proses pembuatan baja dilaksanakan dengan metode *open hearth furnace*, *converter (basic oxygen furnace)*, atau *electric furnace* (Nishiwaki, 1986). Berdasarkan metode tersebut, *slag* pembuatan baja diklasifikasikan atas: *open hearth slag (OH slag)*, *converter slag (C slag)*, dan *electric furnace slag (EF slag)* (Washimi, 1986).

Steel slag merupakan material yang bermanfaat di bidang pertanian, karena *steel slag* dapat digunakan sebagai bahan pengapuran untuk memperbaiki kondisi tanah masam (Crane, 1930; Naftel; 1937; Carter *et al.*, 1951; Suwarno dan Goto, 1997a) maupun sebagai pupuk Si untuk tanaman padi sawah maupun tebu (Ota *et al.*, 1955; Ayres, 1966; Suwarno and Goto, 1997b; Ma dan Takahashi, 2002). Di Jerman material ini sudah digunakan sebagai bahan pengapuran sejak tahun 1937, dan di Amerika Serikat sudah digunakan sejak tahun 1939 (Ma dan Takahashi, 2002).

Di Jepang pada awalnya *steel slag* juga digunakan sebagai bahan pengapuran, seperti halnya di Jerman dan di Amerika Serikat. Namun, karena manfaatnya untuk tanaman padi sawah telah terbukti, maka pada tahun 1955 *steel slag* ditetapkan sebagai pupuk Si oleh Kementerian Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan (Ma dan Takahashi, 2002). Jenis *steel slag* yang umum digunakan sebagai pupuk Si adalah *BF slag* dan sering dikenal dengan sebutan *calcium silicate slag*. Di Cina dan Korea *steel slag* juga telah dimanfaatkan sebagai pupuk Si untuk tanaman padi sawah (De Datta, 1981).

Di Hawaii, adanya respons hasil yang sangat nyata tanaman tebu dan tanaman lain terhadap pemberian *calcium silicate slag* pada tanah dengan tingkat pelapukan lanjut menyebabkan *steel slag* digunakan secara komersial sebagai pupuk Si oleh perkebunan tebu. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa *EF slag* dapat meningkatkan produksi tebu seperti halnya dengan *BF slag* (Ayres, 1966; Fox *et al.*, 1967).

Jenis *steel slag* yang dihasilkan Indonesia adalah *EF slag*. Total produksi jenis *slag* ini mencapai 540,000 ton tahun⁻¹, yaitu 240,000 ton diproduksi oleh PT Krakatau Steel dan sisanya (300,000 ton) diproduksi oleh pabrik-pabrik lain, seperti PT. Gunung Garuda, PT. Ispatindo, dan PT. Master steel. Sampai saat ini *slag* tersebut belum ada yang dimanfaatkan di bidang pertanian. Bahan tersebut hanya dimanfaatkan untuk urug jalan, urug rawa, urug tempat parkir, pengganti bahan baku pembuatan semen,

serta pembersih kapal, tangki penimbun minyak, dan lain-lain. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa *EF slag* Indonesia dapat digunakan sebagai bahan pengapuran untuk memperbaiki kondisi tanah masam (Suwarno dan Goto, 1997a; Suwarno, 1999), bermanfaat sebagai pupuk Si untuk tanaman padi sawah (Suwarno dan Goto, 1997b; Suwarno, 2002), serta dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah gambut.

HASIL PENELITIAN PEMANFAATAN *EF SLAG* INDONESIA DI BIDANG PERTANIAN

Penggunaan *EF Slag* Indonesia sebagai Bahan Pengapuran

Percobaan pot dilaksanakan untuk mengevaluasi *EF slag* Indonesia sebagai bahan pengapuran pada Andisol untuk tanaman *komatsuna* (*Brassica chinensis* L.) serta membandingkannya dengan *C slag* Jepang dan dolomit. Ketiga bahan pengapuran tersebut diberikan dalam dua dosis, yaitu: dosis 1 (untuk mencapai pH 6.5) dan dosis 2 (2 kali dosis 1).

Tabel 1. Pengaruh *EF Slag* Indonesia, *C Slag* Jepang, dan dolomit terhadap pertumbuhan dan kadar hara *Komatsuna* serta ketersediaan hara dalam tanah

Perlakuan	BK Tajuk (g pot ⁻¹)	Kadar Hara Tanaman			Kadar Hara Tanah		
		Fe	Mn	B	Fe Ters	Mn Ters	B Ters
Kontrol	2.04 ab	261	381	21.1	16.6	4.41	0.23
Dolomit 1	3.76 cd	144	162	7.2	18.9	1.99	0.09
Dolomit 2	0.62 a	188	50	4.4	18.5	0.59	0.05
<i>EF Slag</i> 1	6.21 e	122	220	21.6	36.1	6.55	0.26
<i>EF Slag</i> 2	5.04 de	121	223	22.0	54.3	12.1	0.28
<i>C Slag</i> 1	5.01 de	111	381	23.9	37.8	20.2	0.30
<i>C Slag</i> 2	4.86 de	110	293	21.9	47.4	22.8	0.30

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji HSD taraf $\alpha = 5\%$

Dari hasil percobaan tersebut (Tabel 1) diketahui bahwa *EF slag* Indonesia secara nyata memperbaiki pertumbuhan dan produksi *komatsuna*. Produksi *komatsuna* yang diberi *EF slag* Indonesia tidak berbeda nyata dengan yang diberi *C slag* Jepang. Selain itu, pengaruh *EF slag* Indonesia dan *C slag* Jepang pada tanaman tersebut lebih baik daripada dolomit karena keduanya pada dosis tinggi

(dosis 2) tidak menimbulkan defisiensi B dan Mn. Hasil analisis tanah dan tanaman menunjukkan bahwa pemberian dolomit pada dosis tinggi menurunkan ketersediaan B dan Mn dalam tanah serta kadar B dan Mn dalam tanaman *komatsuna*. Hal ini menyebabkan terjadinya defisiensi B dan Mn pada tanaman tersebut (Suwarno and Goto, 1997a).

Percobaan pot lanjutan dilakukan untuk mengevaluasi *EF slag* Indonesia sebagai bahan pengapuran pada Ultisol untuk tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr.) (sebagai tanaman pertama) dan sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) (sebagai tanaman kedua) serta membandingkannya dengan kalsit. Kedua bahan pengapuran diberikan dalam tiga taraf, yaitu untuk mencapai pH 5.5, 6.0, dan 6.5.

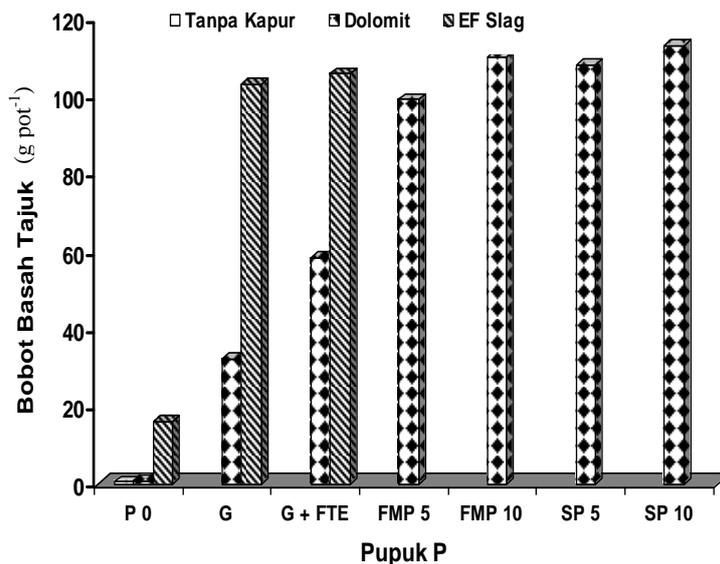
Tabel 2. Pengaruh *EF Slag* Indonesia dan kalsit terhadap pertumbuhan dan produksi kedelai (sebagai tanaman pertama) dan sorghum sebagai tanaman kedua

Perlakuan	Kedelai (Tanaman Pertama)		Sorghum (Tanaman Kedua)
	Bobot Kering biji (g pot ⁻¹)	Prod Relatif (%)	Bobot Basah Tajuk (g pot ⁻¹)
Kontrol	5.84 a	100 a	0.6 a
Kalsit pH 5.5	7.34 ab	126 ab	0.6 a
Kalsit pH 6.0	10.0 ab	171 ab	478.4 b
Kalsit pH 6.5	4.64 a	79 a	695.2 c
<i>EF Slag</i> pH 5.5	5.86 a	100 a	0.8 a
<i>EF Slag</i> pH 6.0	13.4 b	229 b	731.8 c
<i>EF Slag</i> pH 6.5	10.1 ab	172ab	809.7 c

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji HSD taraf $\alpha = 5\%$

Hasil percobaan yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pengaruh *EF slag* Indonesia terhadap produksi kedelai cenderung lebih baik daripada kalsit. Selanjutnya, pada tanaman kedua, pengaruh residu *EF slag* terhadap pertumbuhan tanaman sorghum juga cenderung lebih baik daripada kalsit (Suwarno, 1999).

Percobaan pot lain dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan guano fosfat sebagai pupuk P secara langsung yang dikombinasikan dengan *EF slag* Indonesia dan dolomit untuk tanaman *komatsuna* pada Andisol. Kedua kombinasi juga dibandingkan dengan pupuk Fused Magnesium Fosfat (FMP) dan Super Fosfat (SP) yang dikombinasikan dengan dolomit. Guano fosfat, FMP, dan SP diberikan dalam dua taraf, 5 % dan 10 % koefisien jerapan fosfat, sedangkan *EF slag* dan dolomit diberikan dalam satu taraf untuk mencapai pH 6.5.

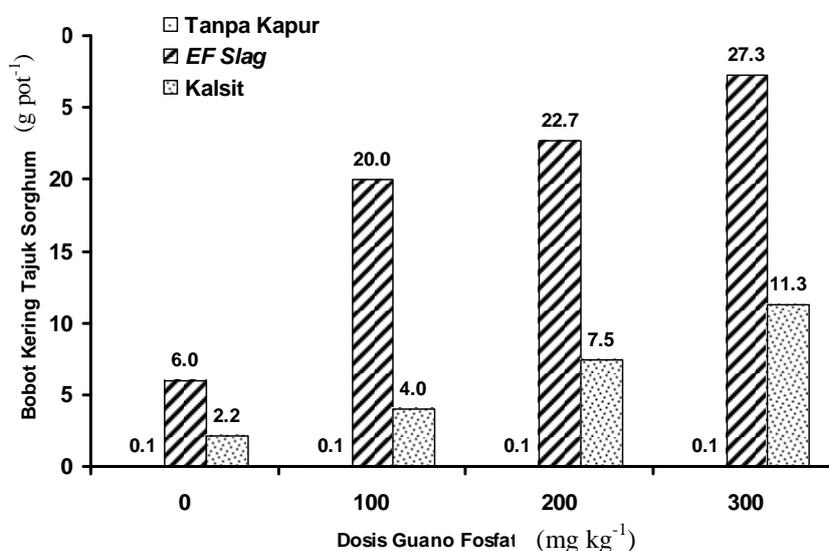


Gambar 1. Pengaruh kombinasi bahan pengapuran dengan pupuk P terhadap pertumbuhan *Komatsuna*

Dari hasil percobaan tersebut (Gambar 1) diketahui bahwa guano fosfat jauh lebih efektif bila dikombinasikan dengan *EF slag* Indonesia daripada dikombinasikan dengan dolomit. Produksi *komatsuna* pada perlakuan kombinasi guano fosfat dengan *EF slag* tidak berbeda nyata dengan perlakuan kombinasi dolomit dengan pupuk FMP maupun SP. Penambahan pupuk mikro FTE (*fritted trace element*) yang berisi Mn dan B pada kombinasi guano fosfat dengan dolomit nyata meningkatkan pertumbuhan dan produksi *komatsuna*, namun penambahan FTE pada kombinasi guano fosfat dengan *EF slag* tidak memperbaiki

pertumbuhan dan produksi tanaman tersebut (Suwarno dan Goto, 2002).

Percobaan pot selanjutnya dilaksanakan untuk membandingkan pengaruh kombinasi guano fosfat dengan *EF slag* dan guano fosfat dengan kalsit pada tanaman sorghum yang ditanam pada Ultisol. Tiap pot diisi dengan tanah setara dengan 5 kg berat kering oven. Guano fosfat diberikan dalam empat taraf, yaitu: 0, 100, 200, dan 300 mg/kg, sedangkan dolomit dan *EF slag* diberikan dalam dua taraf, yaitu tanpa (kontrol) dan 2 X Al dd.



Gambar 2. Pengaruh kombinasi Guano Fosfat dengan *EF Slag* dan Guano Fosfat dengan kalsit terhadap pertumbuhan sorghum

Hasil percobaan yang tertera pada Gambar 2 menunjukkan bahwa baik *EF slag* maupun kalsit secara nyata meningkatkan efektivitas guano fosfat. Guano fosfat

nyata lebih efektif bila dikombinasikan dengan *EF slag* Indonesia daripada bila dikombinasikan dengan kalsit (Suwarno *et al.*, 2003).

Penggunaan EF Slag Indonesia sebagai Pupuk Si pada Tanaman Padi Sawah

Percobaan pot dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan *EF slag* Indonesia sebagai pupuk Si untuk tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L. varietas *Koshihikari* yang ditanam pada tanah jenis Regosol (ordo Entisol) serta membandingkannya dengan *C slag* Jepang, *PTC slag*, dan *BF slag* Jepang. Tiap pot diisi dengan tanah setara dengan 3 kg berat kering oven dan ketiga jenis *slag* diberikan dalam dua taraf, yaitu 10 dan 20 g pot⁻¹ (setara dengan 3.33 dan 6.66 g kg⁻¹).

Tabel 3. Pengaruh berbagai jenis *Slag* terhadap produksi padi sawah varietas *Koshihikari* pada Regosol

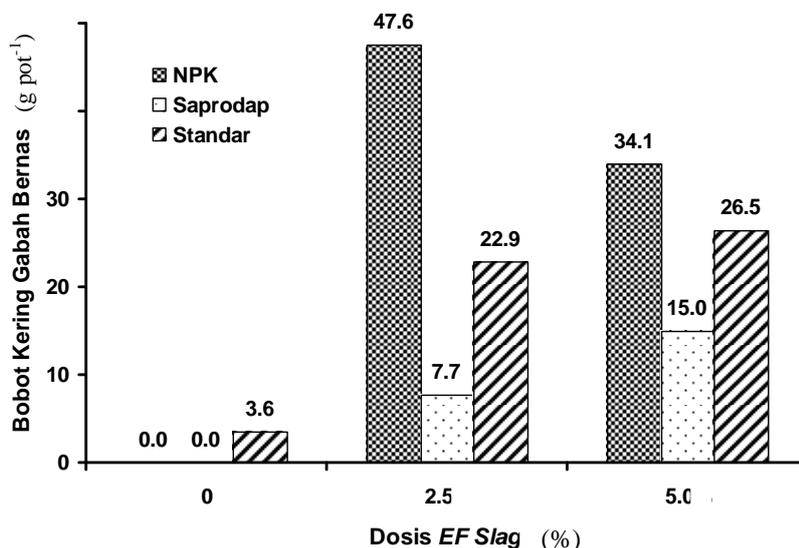
Perlakuan	Produksi Gabah Bernas	
	Aktual (g pot ⁻¹)	Relatif (%)
Kontrol	18.7 a	100 a
<i>EF Slag</i> 10	23.2 ab	124 ab
<i>EF Slag</i> 20	25.4 b	136 b
<i>BF Slag</i> -1 10	20.7 ab	111 ab
<i>BF Slag</i> -1 20	21.2 ab	114 ab
<i>BF Slag</i> -2 10	20.5 ab	110 ab
<i>BF Slag</i> -2 20	20.6 ab	110 ab
<i>FC Slag</i> 10	19.9 ab	106 ab
<i>FC Slag</i> 20	21.8 ab	117 ab

Perlakuan	Produksi Gabah Bernas	
	Aktual (g pot ⁻¹)	Relatif (%)
<i>CC Slag</i> 10	20.2 ab	108 ab
<i>CC Slag</i> 20	22.6 ab	121 ab
<i>PTC Slag</i> 10	23.5 ab	126 ab
<i>PTC Slag</i> 20	24.3 ab	130 ab

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Hasil percobaan (Tabel 3) menunjukkan bahwa pada tanah jenis Regosol yang berkadar Si tersedia rendah (134 mg kg⁻¹) *EF slag*, *C slag*, dan *BF slag* dapat meningkatkan produksi gabah bernas. Produksi gabah bernas kering giling dengan perlakuan *EF slag* Indonesia cenderung lebih tinggi daripada dengan perlakuan *C slag* Jepang maupun *BF slag* Jepang (Suwarno dan Goto, 1997c).

Percobaan pot lanjutan dilaksanakan untuk mengevaluasi penggunaan *EF slag* Indonesia sebagai pupuk Si untuk tanaman padi sawah varietas IR 64 yang ditanam pada tanah gambut. Tiap pot diisi dengan tanah gambut setara dengan 2 kg bobot kering oven. *EF slag* diberikan dalam tiga dosis, yaitu 0, 2.5, dan 5 % dari bobot kering tanah dan dikombinasikan dengan tiga jenis pupuk, yaitu pupuk majemuk NPK, Saprodap, dan pupuk standar (urea, SP 36, dan KCl).



Gambar 3. Pengaruh *EF slag* dan beberapa jenis pupuk terhadap produksi padi sawah varietas IR 64 pada tanah Gambut

Hasil percobaan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pertumbuhan dan produksi padi sawah meningkat pesat dengan pemberian *EF slag* Indonesia. Pengaruh interaksi *EF slag* dengan ketiga jenis pupuk juga bersifat nyata. Dari hasil analisis tanah (Tabel 4) diketahui bahwa

pemberian *EF slag* Indonesia pada tanah gambut secara nyata meningkatkan ketersediaan Si, Ca, Mg, serta meningkatkan pH tanah, tetapi menurunkan ketersediaan Fe, Cu, dan Zn (Suwarno, 2002).

Tabel 4. Pengaruh *EF Slag* terhadap pH dan ketersediaan hara tanah Gambut dari Dendang, Jambi

Perlakuan	pH H ₂ O	Ca Ters	Mg Ters	Si Ters	Fe Ters	Mn Ters	Cu Ters	Zn Ters
	(me 100 g ⁻¹).....		(ppm).....			
0 % <i>EF Slag</i>	3.8 a	1.17 a	1.15 a	71 a	14.5 c	1.03 a	1.39	1.88
2.5 % <i>EF Slag</i>	5.3 b	5.31 ab	5.20 a	224 ab	6.99 b	6.44 c	1.11	1.61
5.0 % <i>EF Slag</i>	6.2 c	9.04 b	11.7 b	582 b	2.65 a	4.41 b	0.96	0.65

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji HSD taraf $\alpha = 5\%$

Percobaan lanjutan tentang penggunaan *EF slag* sebagai pupuk Si untuk tanaman padi sawah varietas IR 64 pada tanah gambut dilakukan di lapangan bertempat di Desa Trimulya, Kecamatan Mukok, Kabupaten Sanggau. *EF slag* diberikan dalam 5 taraf, yaitu: 0, 2.5, 5, 7.5, dan 10 ton ha⁻¹.

Tabel 5. Pengaruh *EF Slag* terhadap produksi padi sawah varietas IR 64 pada tanah Gambut di Mukok, Sanggau

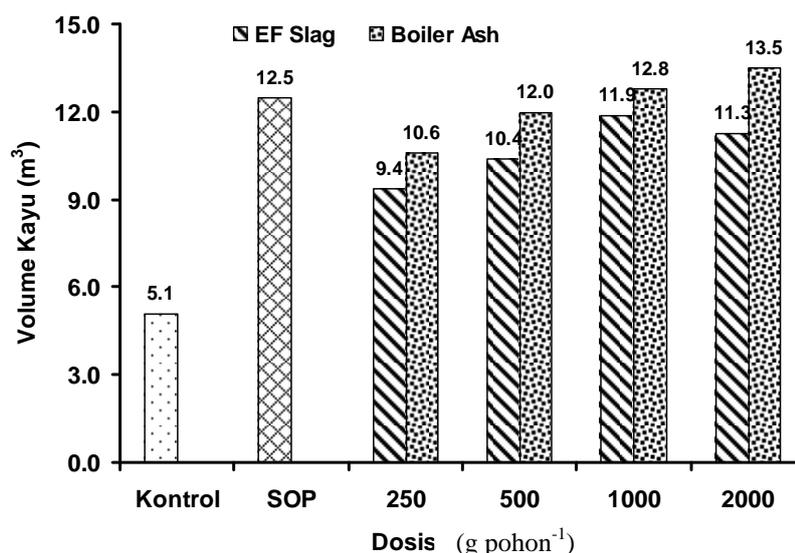
Dosis <i>EF Slag</i> (ton ha ⁻¹)	Produksi Gabah Bernas	
	Aktual (ton ha ⁻¹)	Relatif (%)
0	2.43 a	100 a
2.5	4.02 b	165 b
5.0	4.50 bc	185 bc
7.5	4.53 bcd	186 bcd
10.0	4.77 cd	196 cd

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji HSD taraf $\alpha = 5\%$

Hasil penelitian yang disajikan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pemberian *EF slag* Indonesia pada tanah gambut dengan dosis 2.5 – 10 ton ha⁻¹ dapat meningkatkan produksi (gabah bernas kering giling) padi sawah IR 64 sebesar 1.59 – 2.34 ton ha⁻¹ (65 – 96 %) (Suwarno dan Hidayatulloh, 2006, tidak dipublikasikan).

Penggunaan *EF Slag* Indonesia sebagai Bahan Pembenh Tanah Gambut

Percobaan lapangan dilaksanakan di hutan tanaman industri (HTI) PT Arara Abadi di Distrik Siak untuk mengevaluasi penggunaan *EF slag* Indonesia sebagai bahan pembenh tanah gambut yang ditanami *Acacia cracicarpa* serta membandingkannya dengan *boiler ash*. *EF slag* dan *boiler ash* diberikan dalam 5 taraf, yaitu: 0, 250, 500, 1000, dan 2000 g pohon⁻¹.



Gambar 4. Pengaruh *EF slag* dan *Boiler Ash* terhadap produksi kayu *Acacia cracicarpa* pada tanah Gambut

Dari hasil percobaan (Gambar 4) diketahui bahwa pemberian *EF slag* Indonesia secara nyata meningkatkan pertumbuhan dan produksi kayu *Acacia cracicarpa*. Pada umur satu tahun, produksi kayu pada perlakuan *EF slag* Indonesia tidak berbeda nyata dengan perlakuan *boiler ash*

maupun SOP (*standard operational procedure*). Dari hasil percobaan tersebut diketahui bahwa dosis optimum *EF slag* untuk tanaman *Acacia cracicarpa* pada tanah gambut adalah 1000 g pohon⁻¹.

KESIMPULAN

Dari hasil-hasil penelitian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa *steel slag* Indonesia (*EF slag*) dapat dimanfaatkan di bidang pertanian sebagai: (a) bahan pengapuran, (b) pupuk Si pada tanaman padi sawah, dan (c) bahan pembenah tanah gambut. Sebagai bahan pengapuran, pengaruh *steel slag* Indonesia terhadap pertumbuhan tanaman cenderung lebih baik daripada kalsit maupun dolomit. Kombinasi *steel slag* dengan guano fosfat dapat meningkatkan efektivitas guano fosfat sebagai pupuk P secara langsung. Guano fosfat nyata lebih efektif dikombinasikan dengan *steel slag* daripada dikombinasikan dengan dolomit atau kalsit. Sebagai pupuk Si untuk tanaman padi sawah, *steel slag* Indonesia dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi padi sawah pada tanah mineral berkadar Si rendah maupun tanah gambut. Pengaruh *steel slag* pada tanah gambut jauh lebih baik dibanding pada tanah mineral. Sebagai bahan pembenah tanah gambut, *steel slag* Indonesia dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi kayu *Acacia cracicarpa* yang ditanam pada tanah gambut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1994. Profile in Steel. Mizushima Works, Kawasaki Steel Cooperation, Kurashiki.
- Anonymous. 1996. Properties and Effective Use of Steel Slag. Nippon Slag Association, Tokyo.
- Ayres, A. S. 1966. Calcium silicate slag as growth stimulant for sugarcane on low silicon soils. *Soil Sci.*, 101:216-227.
- Carter, O. R., B. L. Collier, and F. L. Davis. 1951. Blast furnace slags as agricultural liming materials. *J. Agron.*, 43:430-433.
- Crane, F. H. 1930. A comparison of some effects of blast furnace slag and limestone on an acid soil. *J. Am. Soc. Agron.*, 22:968-973.
- De Datta, S. K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. John Wiley & Sons, New York.
- Fox, R. L., J. A. Silva, O. R. Younge, D. L. Plucknet, and G. D. Sherman. 1967. Soil and plant silicate response by sugarcane. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:775-779.
- Ma, J. F. and E. Takahashi. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier, Amsterdam.
- Naftel, J. A. 1937. Soil liming investigations V: The relation of boron deficiency to over-liming injury. *J. Am. Soc. Agron.*, 29:761-771.
- Nishiwaki, M. 1986. Tekko. (3) Seiko (kangokintetsu). In Sekkaiseki no Youto to Tokusei. Sekkaiseki Kogyo Kyokai, Tokyo. P. 184-192.
- Ota, M., H. Kobayashi, and Y. Kawaguchi. 1955. The effect of slag on paddy rice. *Soil and Plant Food*, 1:45-46.
- Suwarno. 1999. Utilization of steel slag as liming material for acid tropical soils. In Proceedings of International Seminar on Toward Sustainable Agriculture in Humid Tropics Facing 21st Century, University of Lampung, Bandar Lampung. P. 293-305.
- Suwarno. 2002. Utilization of steel slag in wetland rice cultivation on peat soil. In Proceedings of the International Symposium on Land Management and Biodiversity in South East Asia, Bali. P. 211-215.
- Suwarno, A. Rachim, K. Idris, R. Situmorang, dan H. B. Punggono. 2003. Penggunaan Kombinasi Guano Fosfat – Terak Baja pada Tanah Tropika Masam dalam Rangka Pengembangan Pupuk Fosfat yang lebih Murah untuk Tanaman Pangan. Laporan Akhir Project Grant QUE 200/2001.
- Suwarno and I. Goto. 1997a. Application of Indonesian electric furnace slag as acid soil amendment. In Proceedings of International Seminar on Development of Agribusiness and Its Impact on Agricultural Production in South East Asia (DABIA). Nodai Center for International Program, Tokyo University of Agriculture, Tokyo. P. 395-402.
- Suwarno and I. Goto. 1997b. Mineralogical and chemical properties of Indonesian electric furnace slag and its application effect as soil amendment. *J. Agric. Sci. Tokyo Univ. Agric.*, 42:151-162.
- Suwarno and I. Goto. 1997c. Effects of Indonesian electric furnace slag on rice yield and chemical properties of soils. In T Ando et al. (Eds). Plant Nutrition – for Sustainable Agriculture and Environment. Kluwer Academic Publisher, Tokyo. P. 803-804.
- Umegaki, K. 1986. Tekko. (1) gaisetsu. In Sekkaiseki no Youto to Tokusei. Sekkaiseki Kogyo Kyokai, Tokyo. P. 175-179.
- Washimi, K. 1986. Tekko. (5) Suragu. In Sekkaiseki no Youto to Tokusei. Sekkaiseki Kogyo Kyokai, Tokyo. P. 200-2005.