

PENDEKATAN *PRECISION FARMING* DALAM PEMUPUKAN N, P, DAN K PADA BUDIDAYA TEBU: STUDI KASUS DI PT GULA PUTIH MATARAM¹

(Precision Farming Approach in N, P, and K Fertilization of Sugar Cane Cultivation: Case Study in PT Gula Putih Mataram)

Sigit Prabawa², Bambang Pramudya³, I Wayan Astika², Radite Praeko Agus Setiawan², Ernan Rustiadi⁴

ABSTRAK

Pada umumnya kegiatan pemupukan tidak memperhatikan keragaman spasial kesuburan tanah yang ada. Hal ini dapat menyebabkan pemborosan pupuk, penurunan produktivitas, peningkatan biaya produksi, penurunan keuntungan, dan dampak negatif pada lingkungan. Masalah tersebut dapat diatasi dengan pendekatan *precision farming*. Penelitian-penelitian tentang *precision farming*, termasuk dalam hal pemupukan, sudah banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa *tool* seperti geostatistika, *artificial neural network*, sistem informasi geografis, dan sistem pendukung keputusan. Namun demikian penelitian yang ada masing-masing hanya menggunakan satu *tool* atau gabungan di antara *tool* tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan keempat *tool* tersebut. Penelitian ini mempunyai tujuan: a) menganalisa keragaman spasial kandungan hara N, P, dan K di dalam petak lahan tebu; b) menganalisa keragaman spasial produktivitas di dalam petak lahan tebu; c) menentukan kebutuhan jumlah hara N, P, dan K pada target hasil tebu (*yield*) dan kadar gula yang diharapkan; serta d) membuat piranti lunak sistem pendukung keputusan untuk pendekatan *precision farming* dalam pemupukan pada budidaya tebu. Penelitian dilaksanakan di perkebunan tebu PT Gula Putih Mataram, Wilayah Mataram Udik, Kecamatan Seputih Mataram, Kabupaten Lampung Tengah, Propinsi Lampung. Plot-plot percobaan digunakan untuk tiga jenis pemupukan, yaitu: a) pemupukan dengan dosis berdasarkan rekomendasi pustaka, b) pemupukan dengan dosis berdasarkan target produktivitas, dan c) pemupukan dengan dosis seragam. Setiap plot percobaan dibagi dalam *grid-grid*. Penentuan dosis pupuk berdasarkan analisa tanah dan daun. Pengambilan sampel tanah dan daun dilakukan dengan metode *grid center*. Aplikasi pupuk dilakukan secara manual. Pemupukan dan pupuk yang digunakan adalah pemupukan pertama (Urea + TSP) dan pemupukan kedua (Urea + KCl). Pengamatan pertumbuhan vegetatif dilakukan terhadap jumlah anakan, tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, dan persentase gap. Selain itu juga dilakukan pengamatan terhadap jumlah tebu roboh, kadar air tanah, persentase penutupan gulma, serta tingkat serangan hama dan penyakit tanaman. Hasil tebu tidak ditentukan dari pemanenan tetapi berdasarkan taksasi. Perangkat lunak *Backpro2N*, *GS⁺ for Windows*, *Surfer 8*, dan *ArcView 3.3* digunakan untuk mendukung perangkat lunak yang dibuat dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K dapat menurunkan tingkat keragaman spasial kandungan hara N, P, dan K serta menurunkan tingkat keragaman spasial produktivitas lahan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kandungan hara mempunyai keragaman spasial cukup rendah–sedang untuk N, serta cukup rendah–cukup tinggi untuk P dan K. Sedangkan produktivitas lahan mempunyai keragaman

¹ Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung

³ Staf Pengajar Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

⁴ Staf Pengajar Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

spasial rendah–agak rendah. Sistem pendukung keputusan yang sudah dibangun (STRAFERT-PF) dapat digunakan untuk: a) menentukan taksasi tebu; b) menentukan kebutuhan jumlah hara N, P, dan K pada target hasil tebu (*yield*) dan kadar gula yang diharapkan; c) menentukan dosis pupuk; d) melakukan analisa keragaman spasial; e) membuat peta informasi lahan; dan f) melakukan analisa biaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan dengan pendekatan *precision framing* dapat menekan pemborosan penggunaan pupuk 53.47% untuk Urea, minimal 86.96% untuk TSP; meningkatkan produktivitas 7.6–10.7%; dan meningkatkan keuntungan 1.09%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pemupukan dengan pendekatan *precision framing* dapat menekan pemborosan penggunaan pupuk yang berlebihan untuk KCl dan meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman.

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Upaya peningkatan produksi gula nasional telah dilakukan dengan beberapa cara, antara lain intensifikasi, ekstensifikasi, rehabilitasi pabrik gula, dan perbaikan sistem pengelolaan kebun dan perkebunan (AGI, 1996).

Peningkatan produksi dengan masukan bahan kimia yang rendah, seperti pemupukan dan aplikasi herbisida, sangat diperlukan karena sejak tahun 1980 kegiatan pertanian untuk produksi pangan yang tidak terkontrol menjadi penyebab pencemaran lingkungan (Umeda *et al.*, 1999). Dengan memperhatikan hal tersebut, maka masalah besar yang dihadapi dalam pertanian adalah peningkatan produksi di satu sisi dan pengurangan dampak lingkungan di sisi lain.

Precision Farming sebagai teknologi baru yang sudah demikian berkembang di luar Indonesia perlu segera dimulai penelitiannya di Indonesia untuk memungkinkan perlakuan yang lebih teliti terhadap setiap bagian lahan sehingga dapat meningkatkan produktivitas dengan meningkatkan hasil, menekan biaya produksi dan mengurangi dampak lingkungan.

Pemberian pupuk dengan tepat jumlah perlu dilakukan karena dengan pola intensifikasi maka akan sangat tidak mungkin bila pasokan hara hanya mengandalkan dari alam seperti pelapukan, air hujan, dan lain-lain. Dengan demikian meskipun kontribusi biaya pupuk terhadap biaya budidaya tanaman hanya 8 – 10%, namun peran pupuk dalam mendukung keberhasilan budidaya tanaman adalah sangat penting, bahkan mutlak (Arifin, 2002). Dengan peranan yang begitu besar, maka penggunaan pupuk yang lebih efisien pada budidaya tebu akan sangat nyata membantu menekan biaya produksi. Efisiensi penggunaan pupuk semakin perlu mendapat perhatian karena saat ini pupuk menjadi barang yang langka dan harganya mahal (Ant/fir, 2005). Oleh karena itu sangat diperlukan pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K dengan salah satu implikasi meningkatnya efisiensi penggunaan pupuk. Sebagai awal dari pengkajian *precision farming* di Indonesia, penelitian ini belum sampai pada pembuatan perangkat keras seperti *yield sensor*, *remote sensor*, *variable rate applicator*, dan lain-lain. Penelitian yang dilakukan dengan pendekatan *precision farming* ini adalah untuk menyempurnakan pemupukan yang dilakukan di lapangan dengan hanya menentukan dosis pupuk tanpa mengubah jenis pupuk.

2. Tujuan

Penelitian ini mempunyai tujuan :

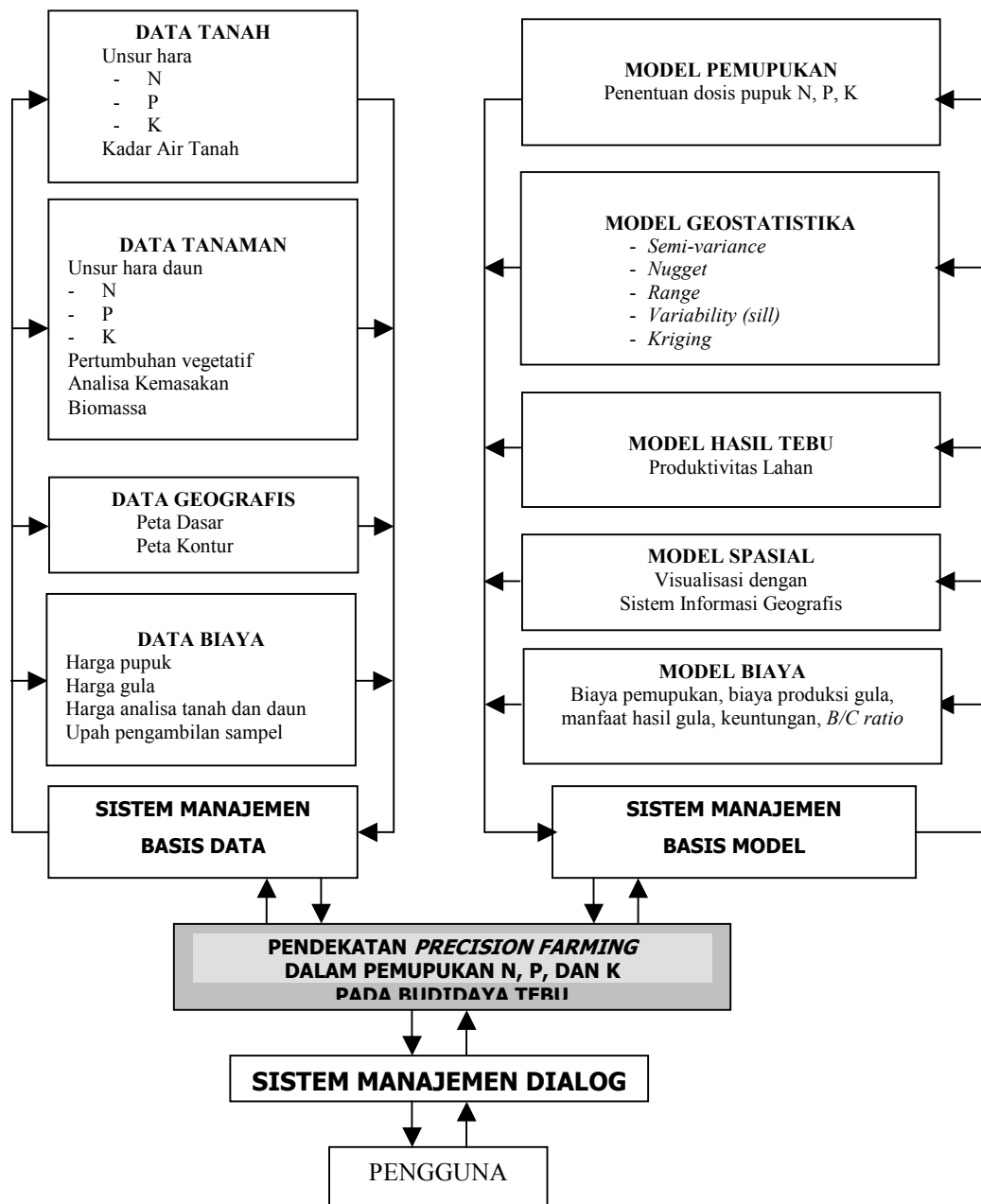
- a. menganalisa keragaman spasial kandungan hara N, P, dan K di dalam petak lahan tebu;
- b. menganalisa keragaman spasial produktivitas di dalam petak lahan tebu;
- c. mencari hubungan antara jumlah hara yang diberikan (N, P, dan K) dengan hasil tebu (*yield*) dan kadar gula; serta
- d. membuat sistem pendukung keputusan untuk strategi pemupukan pada budidaya tebu dengan pendekatan *precision farming*.

B. METODOLOGI

1. Formulasi Masalah

Untuk mendapatkan produktivitas lahan tebu yang tinggi dengan hasil kuantitas dan kualitas kristal gula yang tinggi serta dampak lingkungan yang minimal maka pemupukan N, P, dan K pada budidaya tebu harus dilakukan dengan tepat, efektif, dan efisien. Hal tersebut dapat dicapai melalui pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K, yang mana pemupukan diberikan sesuai kebutuhan dari setiap bagian lahan pada skala mikro, sehingga pemberian pupuk tidak berlebihan atau kekurangan. Selama ini pemberian pupuk diberikan dengan dosis yang seragam untuk seluruh bagian lahan tanpa memperhatikan keragaman kesuburan tanah di dalam lahan.

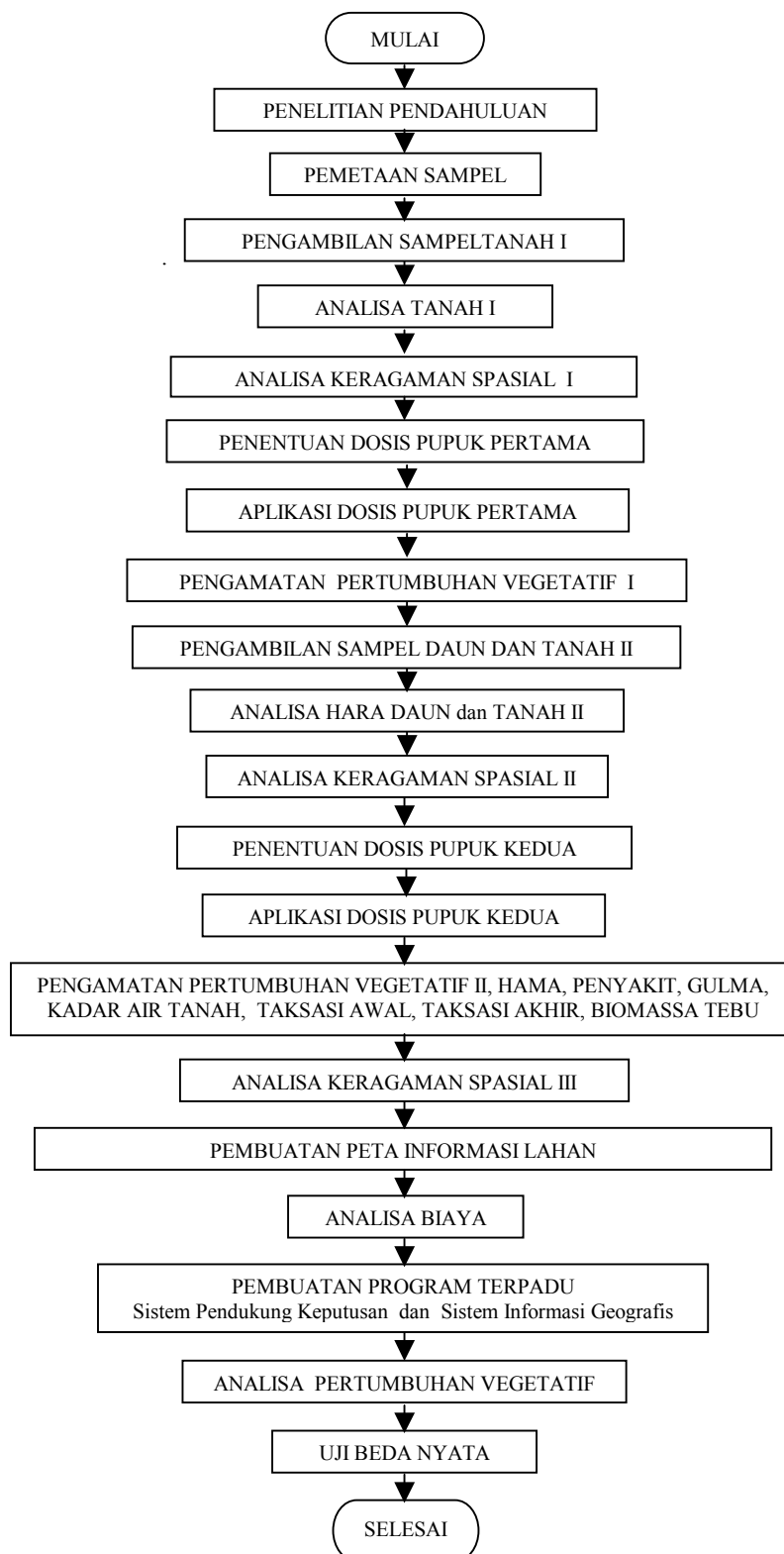
Selanjutnya dibuat suatu Sistem Pendukung Keputusan agar pengambilan keputusan dapat efektif. Konfigurasi Sistem Pendukung Keputusan untuk pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K pada budidaya tebu disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Konfigurasi Sistem Pendukung Keputusan untuk pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K pada budidaya tebu.

2. Tata Laksana Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan pada bulan April 2002 – Juli 2003 di perkebunan tebu PT Gula Putih Mataram, Lampung. Diagram alir tata laksana penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir tata laksana penelitian.

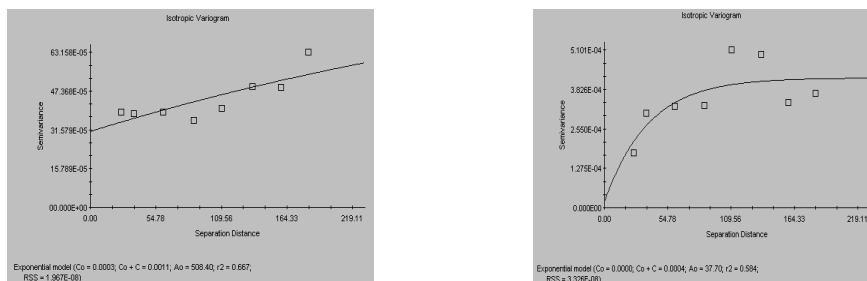
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penelitian Pendahuluan

Aplikasi pupuk di PT GPM dikenal dua cara yaitu pemupukan sekali dan bertahap. Penentuan dosis pupuk di PT GPM didasarkan pada analisa tanah dan daun. PT GPM melaksanakan analisa tanah rutin yang dilaksanakan pada musim tebang dan analisa daun rutin yang dilaksanakan setiap bulan setelah tanaman mencapai umur dua bulan. Pupuk yang digunakan di PT GPM terdiri atas beberapa jenis, tetapi yang paling banyak digunakan adalah Urea (45% N), SP 36(36% P_2O_5), dan KCl (60% K_2O). PT GPM menerapkan dosis seragam. Dengan aplikasi dosis pupuk yang seragam untuk keseluruhan petak lahan tebu dan terlebih lagi adanya keragaman produktivitas lahan tebu maka kajian *precision farming* perlu dilakukan.

2. Keragaman Spasial

Analisa keragaman spasial menghasilkan parameter *semi-variogram* dan klasifikasi keragaman spasial. Contoh ilustrasi *semi-variogram* ditampilkan pada Gambar 3.



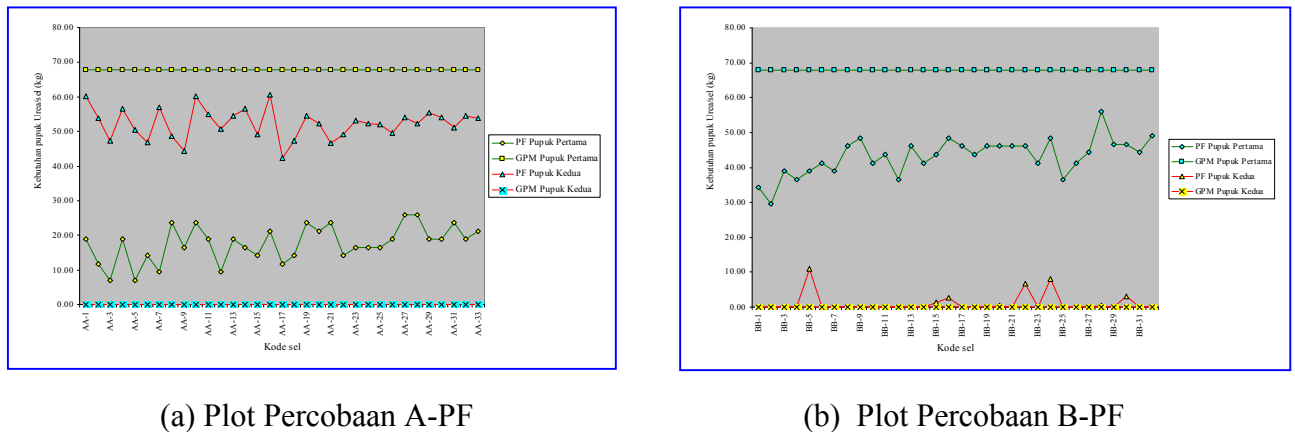
(a) sebelum pemupukan pertama (b) sebelum pemupukan kedua

Gambar 3 Contoh *semi-variogram* kandungan N *top soil* tebu pada Plot Percobaan A-PF.

3. Peta Informasi Lahan

Contoh perbedaan kebutuhan pupuk per sel pada setiap plot percobaan antara pendekatan *precision farming* dan dosis seragam disajikan pada Gambar 4. Informasi dari gambar tersebut menunjukkan bahwa aplikasi pupuk dengan dosis seragam tidak sesuai dengan kebutuhan spesifik lokasi (*precision farming*). Perbedaan jumlah kebutuhan pupuk setiap plot percobaan disajikan pada Gambar 5, yang dalam hal ini tidak dapat disimpulkan jumlah kebutuhan pupuk dengan pendekatan *precision farming*

lebih banyak atau lebih sedikit dari pada dosis seragam. Hal ini disebabkan kebutuhan pupuk tergantung pada tingkat ketersediaan hara yang ada. Walaupun dengan pendekatan *precision farming*, tetapi kalau hara yang tersedia sedikit sementara yang dibutuhkan banyak maka tentunya pupuk yang ditambahkan akan banyak dan sebaliknya.

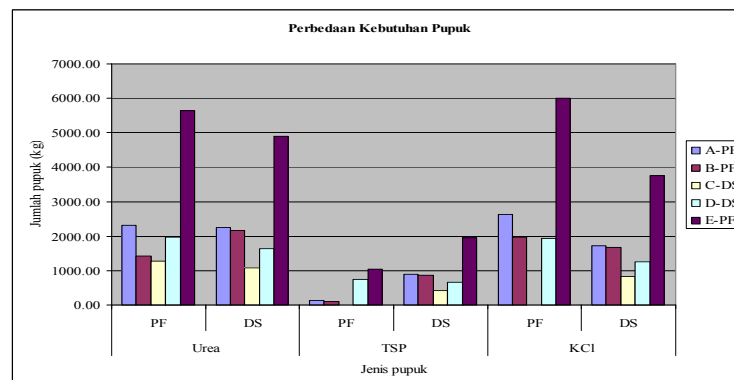


(a) Plot Percobaan A-PF

(b) Plot Percobaan B-PF

PF = *precision farming* dengan rekomendasi pustaka
GPM = dosis seragam dari PT Gula Putih Mataram

Gambar 4 Contoh perbedaan kebutuhan pupuk Urea per sel pada setiap plot percobaan.

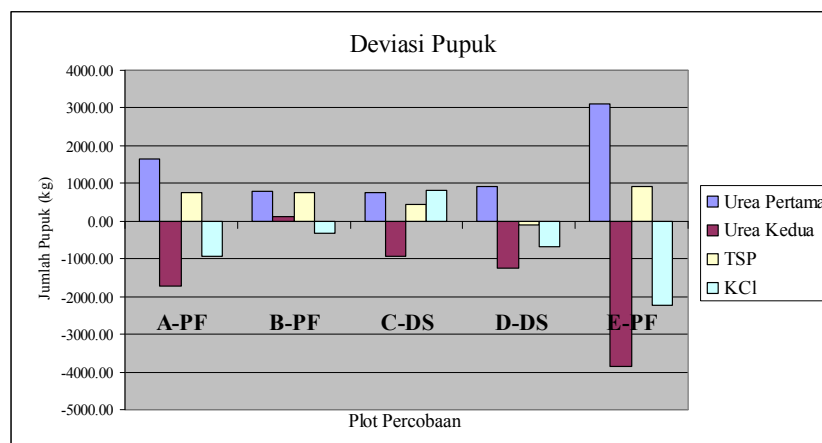


Gambar 5 Perbedaan kebutuhan pupuk antara *precision farming* (PF) dan dosis seragam (DS) pada setiap plot percobaan.

Deviasi pupuk (kelebihan/kekurangan) setiap plot percobaan disajikan Gambar 6. Deviasi pupuk ditentukan berdasarkan selisih dosis antara perhitungan dengan pendekatan *precision farming* dan dosis seragam.

Tingkat inefisiensi disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 7. Tingkat inefisiensi kurang dari 0 menunjukkan kekurangan penggunaan pupuk, sedangkan tingkat inefisiensi lebih dari 0 menunjukkan pemborosan penggunaan pupuk. Kekurangan

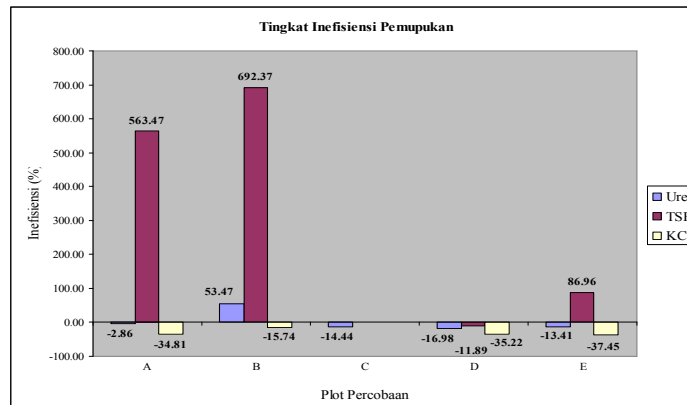
pupuk di satu sisi menghemat biaya dan mengurangi dampak lingkungan tetapi di sisi lain berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan tebu dan hasil yang diperoleh. Sementara pemborosan pupuk tidak menghemat biaya, menambah dampak lingkungan, serta berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan tebu dan hasil yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika pada Plot Percobaan A-PF, B-PF, dan E-PF diterapkan penggunaan pupuk dengan dosis seragam maka terjadi pemborosan pupuk TSP. Pemborosan pupuk TSP pada Plot Percobaan E-PF menunjukkan tingkat berlebihan (86.96%), sedangkan Plot Percobaan A-PF dan B-PF sangat berlebihan (563.47% dan 692.37%). Sementara Plot Percobaan C-DS yang memang menggunakan pupuk dengan dosis seragam menunjukkan pemborosan pupuk TSP dan KCl yang amat sangat berlebihan. Pemborosan juga terjadi pada penggunaan pupuk Urea untuk Plot Percobaan B-PF yang menunjukkan tingkat berlebihan jika diterapkan dosis seragam. Selain itu penggunaan pupuk KCl pada Plot Percobaan C-DS menunjukkan pemborosan pada tingkat amat sangat berlebihan.



Gambar 6 Deviasi pupuk pada setiap plot percobaan.

Tabel 1 Perbedaan kebutuhan pupuk dan tingkat inefisiensi pemupukan

			Plot Percobaan				
			A-PF	B-PF	C-DS	D-DS	E-PF
Jumlah pupuk (kg)	Urea	Precision Farming	2307.88	1416.47	1270.35	1964.01	5648.74
		Dosis Seragam	2241.85	2173.91	1086.96	1630.43	4891.30
	TSP	Precision Farming	135.16	109.74	0.00	740.17	1046.50
		Dosis Seragam	896.74	869.57	434.78	652.17	1956.52
	KCl	Precision Farming	2636.72	1977.90	0.00	1929.49	5995.58
		Dosis Seragam	1718.75	1666.67	833.33	1250.00	3750.00
Inefisiensi (%)	Urea		-2.86	53.47	-14.44	-16.98	-13.41
	TSP		563.47	692.37	#DIV/0!	-11.89	86.96
	KCl		-34.81	-15.74	#DIV/0!	-35.22	-37.45



Gambar 7 Tingkat inefisiensi pemupukan setiap plot percobaan.

4. Sistem Pendukung Keputusan

Sistem Pendukung Keputusan untuk Pendekatan *Precision Farming* dalam Pemupukan N, P, dan K pada Budidaya Tebu telah dibangun dengan nama STRAFERT-PF. Program komputer tersebut dibuat dalam bahasa Delphi 7.0. Contoh tampilan STRAFERT-PF disajikan pada Gambar 8.



(a) tampilan awal



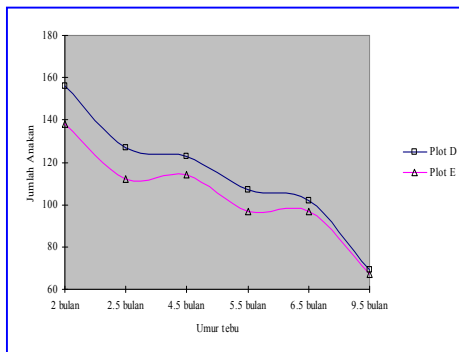
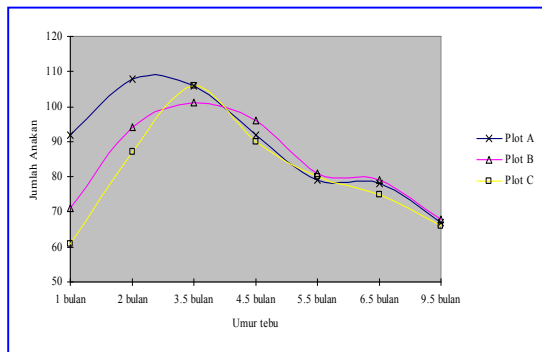
(b) menu utama

Gambar 8. Contoh tampilan Sistem Pendukung Keputusan untuk Pendekatan *Precision Farming* dalam Pemupukan N, P, dan K pada Budidaya Tebu

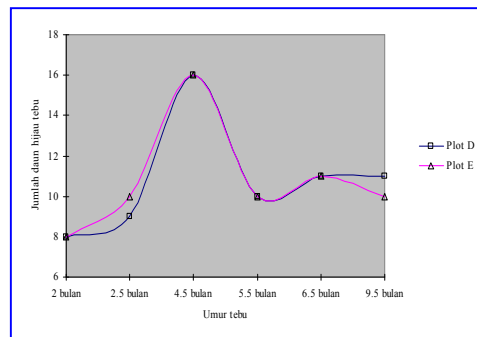
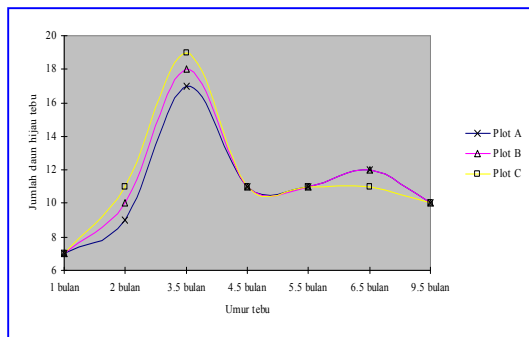
5. Analisa Pertumbuhan Vegetatif

Pertumbuhan jumlah anakan menunjukkan bahwa pendekatan *precision farming* dapat menjaga jumlah anakan tetap lebih banyak dibanding pendekatan dosis seragam (Gambar 9a). Secara umum pertumbuhan jumlah anakan menunjukkan meningkat sampai umur 3.5 bulan kemudian mengalami penurunan. Hal ini juga terjadi pada Plot Percobaan A-PF, B-PF, dan C-DS kecuali Plot Percobaan D-DS dan E-PF yang

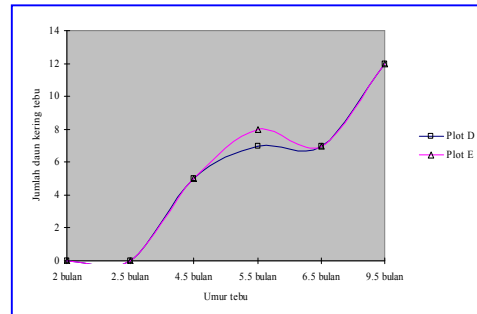
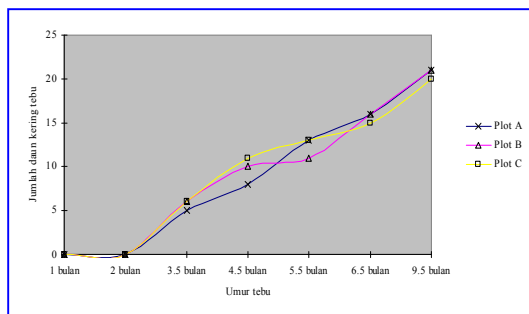
menunjukkan penyimpangan. Penyimpangan ini disebabkan keterlambatan pemupukan pertama yang lebih lama dialami Plot Percobaan D-DS dan E-PF.



(a) jumlah anakan tebu

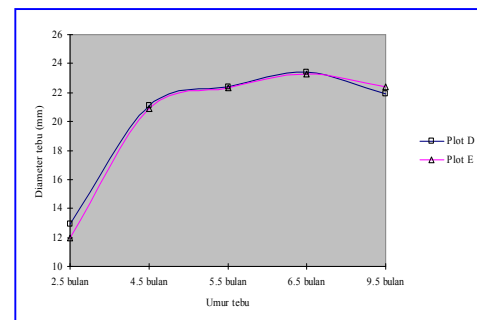
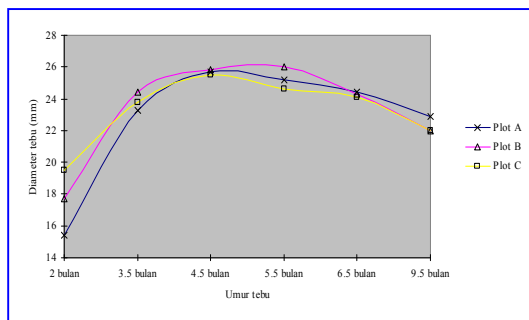


(b) jumlah daun hijau tebu

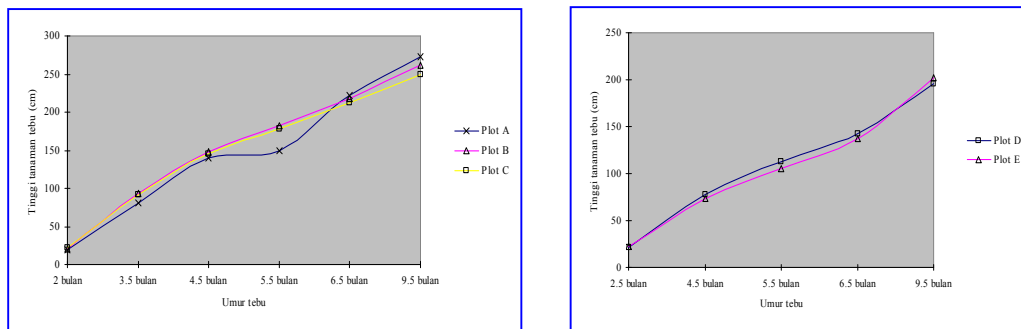


(c) jumlah daun kering tebu

Gambar 9 Kecenderungan pertumbuhan vegetatif tebu.



(d) diameter tebu

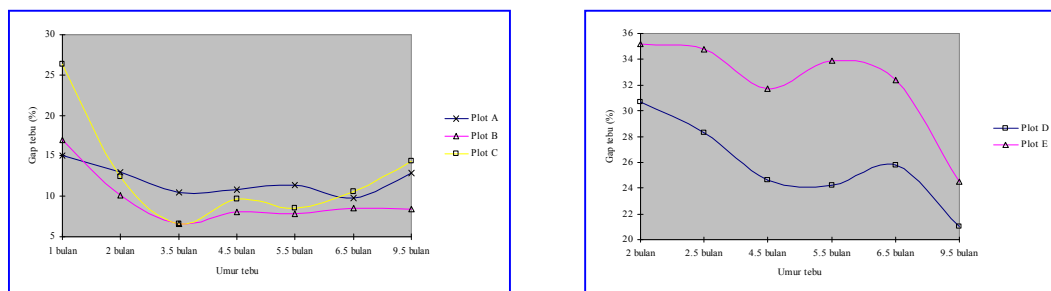


(e) tinggi tebu

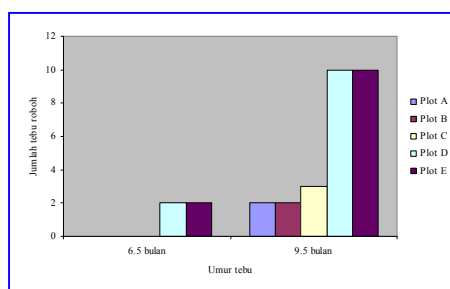
Gambar 9 Kecenderungan pertumbuhan vegetatif tebu (lanjutan).

Pertumbuhan jumlah daun juga menunjukkan bahwa pendekatan *precision farming* berpengaruh (Gambar 9b dan 9c). Pada pemupukan pertama, jumlah pupuk Urea yang diberikan pada Plot Percobaan C-DS lebih banyak dari perhitungan dosis menurut pendekatan *precision farming*. Ketersediaan hara N yang banyak menyebabkan daun lebih lebat dan gelap.

Pertumbuhan diameter dan tinggi tanaman tebu dengan pendekatan *precision farming* juga lebih baik dari pendekatan dosis seragam (Gambar 9d dan 9e). Ketersediaan hara yang lebih baik dapat menjamin pertumbuhan diameter dan tinggi tanaman yang lebih baik. Di samping itu gap yang terjadi menjadi lebih kecil (Gambar 10) dan tebu yang roboh lebih sedikit (Gambar 11).



Gambar 10 Kecenderungan pertumbuhan persentase gap tebu.



Gambar 11 Kecenderungan pertumbuhan jumlah tebu roboh.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari bab-bab sebelumnya dapat disimpulkan

1. Keragaman spasial kandungan hara
 - a. pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K dapat menekan tingkat keragaman spasial kandungan hara N, P, dan K;
 - b. unsur hara N *top soil*, N *sub soil*, dan P *top soil* menunjukkan ketergantungan spasial sehingga untuk pengamatan pada siklus *precision farming* selanjutnya perlu diperhatikan pola keragaman yang terjadi;
 - c. unsur hara P *sub soil* K *top soil*, dan K *sub soil* tidak menunjukkan ketergantungan spasial sehingga untuk pengamatan pada siklus *precision farming* selanjutnya dapat dilakukan secara acak;
 - d. agar lebih efisien maka ukuran pengambilan contoh (*sampling size*) pengamatan tanah dapat diperbesar dari 25 m menjadi minimal 40 m, dengan rincian 51 - 2065.5 m untuk N, 41.4 - 1039.5 m untuk P, dan 60.3 - 2040.3 m untuk K;
 - e. tingkat keragaman spasial yang terjadi berkisar dari agak rendah sampai cukup tinggi berdasarkan 11 kelas keragaman spasial yang digunakan, dengan rincian cukup rendah – sedang untuk N, cukup rendah – cukup tinggi untuk P dan K.
2. Keragaman spasial produktivitas lahan
 - a. pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K dapat menekan tingkat keragaman spasial produktivitas lahan;
 - b. produktivitas lahan menunjukkan ketergantungan spasial sehingga untuk pengamatan pada siklus *precision farming* selanjutnya perlu diperhatikan pola keragaman yang terjadi;
 - c. agar lebih efisien maka ukuran pengambilan contoh (*sampling size*) pengamatan produktivitas lahan dapat diperbesar dari 25 m menjadi minimal 40 m, dengan rincian 288.3 m untuk Plot Percobaan A-PF, 44.7 m untuk Plot Percobaan B-PF, 152 m untuk Plot Percobaan C-DS, acak untuk Plot Percobaan D-DS, dan 259 m untuk Plot Percobaan E-PF;
 - d. tingkat keragaman spasial yang terjadi berkisar dari rendah sampai cukup rendah berdasarkan 11 kelas keragaman spasial yang digunakan, dengan

rincian agak rendah pada Plot Percobaan A-PF, rendah pada Plot Percobaan B-PF, agak rendah pada Plot Percobaan C-DS, cukup rendah pada Plot Percobaan D-DS, dan cukup rendah pada Plot Percobaan E-PF.

3. Model *Artificial Neural Network* (ANN) yang dibangun untuk memformulasikan hubungan antara jumlah hara yang dibutuhkan dengan hasil tebu dan kadar gula memiliki akurasi $R^2=0.93$ untuk pupuk pertama N, $R^2=0.88$ untuk pupuk pertama P, $R^2=0.88$ untuk pupuk kedua N, dan $R^2=0.92$ untuk pupuk kedua K. Dibandingkan dengan penentuan dosis pupuk berdasarkan rekomendasi pustaka, penentuan dosis pupuk berdasarkan target produksi dan kadar gula dengan model ANN memberikan hasil yang lebih baik.
4. Sistem Pendukung Keputusan untuk pendekatan *precision farming* dalam pemupukan N, P, dan K pada budidaya tebu telah dibangun dengan nama STRAFERT-PF yang mempunyai kemampuan untuk menentukan taksasi tebu; mencari hubungan antara jumlah hara N, P, dan K untuk pemupukan dengan produktivitas dan kadar gula yang dihasilkan; menentukan dosis pupuk; melakukan analisa keragaman spasial; membuat peta informasi lahan; dan melakukan analisa biaya.
5. Pendekatan *precision framing* dalam pemupukan N, P, dan K dapat menekan pemborosan penggunaan pupuk 53.47% untuk Urea, minimal 86.96% untuk TSP, berlebihan untuk KCl; meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman; meningkatkan produktivitas 7.6 – 10.7%; dan meningkatkan keuntungan 1.09%.

DAFTAR PUSTAKA

- [ACPA] The Australian Centre for Precision Agriculture. 2005. Annual Symposium on Precision Agriculture Research & Application in Australia : Presentaion Program & Index/Abstract. Sydney: The University of Sydney.
<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/symposium> [15 Oktober 2005]
- [AGI] Asosiasi Gula Indonesia. 1996. *Laporan Triwulanan*. Pasuruan: Asosiasi Gula Indonesia.
- Ant/fir. 19 Desember 2005. Mengapa kelangkaan pupuk selalu berulang. Jakarta: Republika.
http://www.republika.co.id/koran_detail.asp?id=226917&kat_id=&kat_id1=&kat_id2
= [16 Maret 2006]
- Arifin Z. 2002. Program penyiapan pupuk nasional tahun 2002 – 2007 untuk ketahanan pangan. Di dalam: *Peningkatan Produktivitas melalui Penguasaan Teknologi Inovatif menuju Kemandirian Industri Pertanian. Prosiding Seminar Nasional*; Jakarta, 9 Juli 2002. Jakarta: Persatuan Insinyur Indonesia. hlm 3-1 – 3-6.
- Blackmore S. 1994. Precision Farming : an overview. *Agricultural Engineer* 49(3):86-88.
- Cook SE, O'Brien R, Corner RJ, Oberthur T. 2003. Is precision agriculture irrelevant to developing countries? Columbia: International Center for Tropical Agriculture.
http://www.wageningenacademic.com/books/ECPA/_contents.pdf
[31 Juli 2005]
- De Geus JG. 1973. *Fertilizer Guide for the Tropics and Subtropics*. Zurich: Centre d'Etude del'Azote.
- Kuhar JE, editor 1997. *The Precision-Farming : Guide for Agriculturist*. Illinois: John Deer Publishing.
- Robert PC. 1999. Precision Agriculture: Research needs and status in the USA. *Precision Agriculture* 99 Part 1:pp19-33.
- Umeda M, Iida M, and Suguri M. 1999. Research at laboratory of farm machinery of Kyoto University. ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting. Toronto Canada.
- White JG, Welch RM, Norvell WA. 1997. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. *Soil Science Society American Journal* 61:185-194.
- Wolf SA, Wood SD. 1997. Precision farming : environmental legitimation, commodification of information, and industrial coordination. The Rural Sosiological Society. *Rural Sociology* 62(2):180-206.