



INTEGRASI METODE DEMATEL (*DECISION MAKING TRIAL AND EVALUATION LABORATORY*) DAN ANP (*ANALYTIC NETWORK PROCESS*) DALAM EVALUASI KINERJA SUPPLIER DI PT. XYZ

Yosta Yoserizal^{1}, Moses L. Singgih²⁾*

Program Studi Magister Manajemen Teknologi

Bidang keahlian Manajemen Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Cokroaminoto 12 A, Surabaya, 60264, Indonesia

Email : yostayoserizal_mmt@yahoo.co.id, moses@ie.its.ac.id

ABSTRAK

Evaluasi kinerja *supplier* kertas merupakan kegiatan strategis dalam *supply chain management* yang dilakukan oleh PT. XYZ. Pendekatan Delphi diusulkan kepada perusahaan untuk mengidentifikasi ulang kriteria evaluasi *supplier*-nya agar sesuai dengan kebutuhan perusahaan saat ini. Pembobotan prioritas pada kriteria evaluasi juga diusulkan dengan menggunakan integrasi metode Dematel dan ANP, sehingga hasil evaluasi dapat mencapai objektif perusahaan secara optimal. Berdasarkan analisa Delphi telah terpilih 14 kriteria yang digunakan pada evaluasi kinerja *supplier*. Kriteria tersebut dirangkum dalam variabel ketepatan, *service*, *price*, dan *green supplier*. Hasil analisa integrasi metode Dematel-ANP menyebutkan bahwa perusahaan sangat memprioritaskan 5 kriteria dari total 14 kriteria evaluasi, yaitu ketepatan kualitas, *green process*, ketepatan jumlah kirim, *green product*, dan ketepatan waktu kirim. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa PT. CMI merupakan *supplier* terbaik pada periode evaluasi April- Juni 2011, sedangkan D.R.W.S.N menjadi yang terbaik pada periode evaluasi Juli- September 2011. Berdasarkan analisa *traffic light system*, PT. CMI dan D.R.W.S.N memiliki performa yang sangat baik pada 13 kriteria evaluasi, kecuali pada kriteria harga. PT. P memiliki performa yang sangat baik pada seluruh kriteria yang digunakan untuk evaluasi. PT. SKH dan PT. PD menunjukkan kelebihannya pada kriteria ketepatan kualitas dan ketepatan waktu kirim. Adapun CV. DG memiliki performa yang cukup baik pada kriteria ketepatan kualitas.

Kata kunci : Evaluasi Kinerja *Supplier*, Delphi, Dematel, ANP, dan *Traffic Light System*

PENDAHULUAN

Pemenuhan bahan baku kertas pada PT. XYZ dipasok lebih dari satu *supplier*. Hal ini dilakukan untuk menjaga ketersediaan material demi kelancaran jalannya proses produksi. Evaluasi *supplier* di PT. XYZ selama ini diterapkan hanya dengan perspektif kriteria penilaian keringanan waktu pelunasan pembayaran, *quality* dan *delivery*. Di satu sisi, perusahaan juga dituntut untuk memiliki *resource based capability* berupa dukungan dari *supplier* yang handal dalam memasok material kertas, sehingga *service value* yang diinginkan dapat tercapai. Kehandalan *supplier* yang dibutuhkan tentu saja tidak hanya tercermin pada *supplier* yang mampu memasok material berharga murah, berkualitas dan tepat waktu saja, tetapi juga harus mampu memberikan *service* yang



optimal, baik dari segi kelancaran komunikasi dan informasi, responsif, dan memberikan kemudahan dalam proses transaksi. Maka dari itu, perusahaan perlu melakukan evaluasi kinerja *supplier* dengan menggunakan kriteria yang menilai juga *responsiveness* dan *service* yang diberikan oleh *supplier* kepada perusahaan.

Pada penelitian ini juga digunakan kerangka kriteria *green supplier* (Fu *et al.*, 2010) dalam proses evaluasi kinerja *supplier* kertas. Hal ini dikarenakan perusahaan saat ini sedang fokus untuk segera mendapatkan sertifikasi ISO-14001 tentang sistem manajemen lingkungan. Tujuan perusahaan dengan tercapainya ISO-14001 adalah untuk efisiensi biaya *waste threatment*, komitmen perlindungan terhadap lingkungan sesuai dengan peraturan-peraturan yang ada dan memperluas pangsa pasar, khususnya untuk pasar luar negeri. Dalam rangka mendapatkan sertifikasi ISO 14001 beserta beberapa tujuan yang diinginkan, salah satu poin yang harus diperhatikan oleh perusahaan adalah masalah sistem pengadaan material. Perusahaan harus mulai memikirkan bahwa semua material yang diperoleh adalah berasal dari *supplier* yang telah menerapkan *green process*, sehingga mampu menghasilkan *green product* yang ramah bagi lingkungan dan aman dalam penggunaannya.

Melihat tuntutan bisnis di atas, maka perusahaan dinilai perlu mengidentifikasi ulang kriteria evaluasinya. Dengan demikian, kriteria penilaian akan sesuai dengan kebutuhan dan objektif perusahaan. Salah satu metode ilmiah yang tepat digunakan untuk identifikasi kriteria adalah metode Delphi. Metode Delphi dinilai tepat untuk diterapkan karena pada perusahaan terdapat beberapa pandangan subjektif yang berbeda pada tiap individu pihak manajemen terkait terhadap kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja *supplier*. Metode Delphi akan mampu menampung opini subjektif tiap individu tersebut secara iteratif dan memungkinkan adanya umpan balik terkendali dalam penilaian respon kelompok (Cooper, 1995). Kriteria awal yang akan diajukan kepada responden untuk dipilih sebagai kerangka final dalam evaluasi kinerja *supplier* kertas merupakan kriteria evaluasi kinerja *supplier* dari *Dickson vendor selection and evaluation* dan *green supplier* yang berjumlah 28 kriteria.

Pelaksanaan evaluasi di PT. XYZ dilakukan menggunakan kriteria dengan bobot yang sama. Evaluasi kinerja *supplier* akan lebih sempurna apabila dilakukan juga pembobotan pada seluruh indikator kinerja pada tiap *supplier*. Pembobotan pada kriteria penilaian sangat penting dilakukan karena dapat menunjukkan prioritas terhadap masing-masing indikator kinerja, sehingga dapat memudahkan pihak manajemen terkait dalam pengambilan suatu keputusan.

Sistem evaluasi kinerja *supplier* di PT. XYZ sangat memungkinkan untuk dilakukan dengan menggunakan sejumlah kriteria penilaian kinerja yang saling memiliki keterkaitan antar kriteria evaluasi. Hal ini dikarenakan, PT. XYZ merupakan perusahaan besar yang memiliki kepentingan yang cukup kompleks terhadap hubungan strategisnya dengan para *supplier*. Berdasarkan kondisi perusahaan tersebut, maka perusahaan memerlukan metode *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yang dapat mengakomodasi terjadinya keterkaitan antar kriteria yang ada.

Metode MCDM yang tepat untuk digunakan dalam aplikasi pengambilan keputusan pada evaluasi kinerja *supplier* ini adalah integrasi dari metode DEMATEL dan metode *Analytic Network Process* (ANP). DEMATEL dapat digunakan untuk menentukan keterkaitan yang terjadi antar kriteria evaluasi kinerja *supplier*. Selain itu, DEMATEL juga dapat digunakan untuk menemukan dan menganalisa kriteria yang dominan pada suatu sistem (Tzeng *et al.*, 2007). ANP merupakan metode yang dapat digunakan dalam permasalahan *Multi Criteria Decision Making* (MCDM). Metode

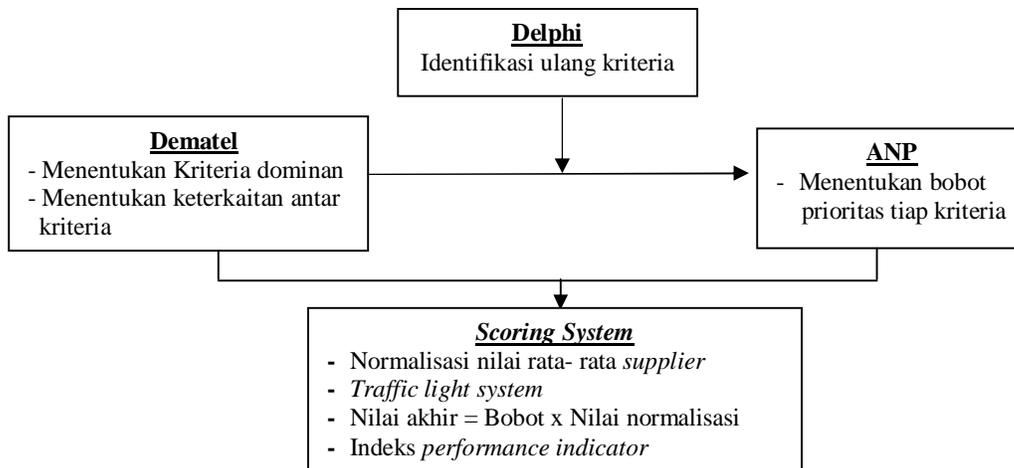


ANP mampu memperbaiki kelemahan AHP berupa kemampuan mengakomodasi keterkaitan antar kriteria atau alternatif pada proses evaluasi kinerja *supplier* (Bayazit, 2006). Dengan metode ANP akan diperoleh bobot prioritas pada seluruh kriteria yang digunakan dalam evaluasi kinerja *supplier*. Hasil dari pembobotan tersebut dapat digunakan sebagai input dalam tahap penilaian akhir pada seluruh alternatif *supplier* berdasarkan pada kriteria yang telah teridentifikasi.

Secara keseluruhan, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kriteria (VPI) *supplier* yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan, menentukan prioritas VPI atau kriteria kinerja *supplier*, dan mengaplikasikan kriteria evaluasi terpilih beserta masing-masing bobot prioritasnya pada sistem evaluasi kinerja *supplier* di perusahaan.

METODE

Tahapan penelitian yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 3 tahapan utama, yaitu penarikan opini dengan metode Delphi, kemudian dilanjutkan dengan pembobotan kriteria dengan kombinasi metode Dematel dengan ANP. *Output* dari pembobotan akan digunakan pada tahapan *scoring system*, yang dikemas dalam pendekatan *traffic light system* dan indeks *performance indicator*. Secara lebih jelas tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Metode Delphi dilakukan dengan menggunakan 2 tim, yaitu tim monitor (peneliti dan GM produksi) dan tim partisipan (Manajer PPIC, Manajer *purchasing*, Kabag gudang bahan baku, dan Kabag PPIC). Tim monitor bertugas untuk mengusulkan kriteria dan mengevaluasi jawaban dari tiap partisipan pada tiap putaran penjarangan opini dilakukan. Delphi dilakukan dengan menggunakan kuesioner yang diisi secara terpisah antar partisipan yang satu dengan yang lain. Penjarangan opini akan dihentikan setelah jawaban dari partisipan mengarah pada jawaban yang konvergen dan memiliki nilai rata-rata kelompok lebih dari 6.

Tahapan selanjutnya adalah dengan menggunakan Dematel dan ANP untuk mendapatkan bobot prioritas pada tiap kriteria yang terpilih melalui metode Delphi. Melalui metode Dematel akan dapat diketahui kriteria yang dominan pada sistem evaluasi kinerja *supplier*, dan yang paling penting adalah akan diketahui juga keterkaitan antar kriteria yang nantinya dapat digunakan sebagai input untuk metode



ANP. Dematel dan ANP dilakukan dengan menggunakan kuesioner perbandingan berpasangan *influence* (Tzeng *et al.*, 2007) dan ANP (Saaty, 1996). Kuesioner Dematel dan ANP akan diisi oleh 5 responden, yaitu GM produksi, Manajer PPIC, Manajer *purchasing*, Kabag gudang bahan baku, dan Kabag PPIC.

Tahapan terakhir pada penelitian adalah *scoring system*. Tahapan penilaian dilakukan selama 2 periode, yaitu April-Juni 2011 dan Juli- September 2011. *Supplier* yang dievaluasi terdiri dari PT. CMI, PT. P, D.R.W.S.N, PT. SKH, CV. DG, dan PT. PD. Pada tahapan ini akan diketahui kelebihan pada masing-masing *supplier*, nilai dan ranking akhir *supplier* per periode, serta *progress* kinerja *supplier*. Kelebihan *supplier* dapat ditentukan dengan pendekatan *traffic light system*. Penjelasan mengenai pendekatan ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala Nilai pada *Traffic Light System*

Skala nilai (X)	Warna	Keterangan
$X \leq 75,99$	Merah	<i>achievement</i> dari suatu VPI tidak tercapai
$76 \leq X \leq 85,99$	Kuning	<i>achievement</i> dari suatu VPI hampir tercapai
$X \geq 86$	Hijau	<i>achievement</i> dari suatu VPI sudah tercapai

Nilai pada *Traffic Light System* diperoleh dari hasil normalisasi nilai rata-rata tiap *supplier*. Proses normalisasi dilakukan dengan rumus normalisasi *Snorm* “*Large is Better*” dari De Boer (Trienekens dan Hvloby, 2000). Nilai dan ranking akhir dari seluruh *supplier* dapat diketahui melalui hasil perkalian antara nilai normalisasi dengan bobot pada tiap kriteria kinerja. Predikat yang diperoleh masing-masing *supplier* dapat ditentukan berdasarkan hasil nilai akhir *supplier*. *Range* nilai dan predikat *supplier* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Range* dan Predikat Evaluasi *Supplier*

<i>Range</i> Nilai	Predikat <i>Supplier</i>
$92 \leq X \leq 100$	Sangat Baik (pemasok ini harus dipertahankan)
$80 \leq X \leq 91,99$	Baik (dipelihara dan lebih ditingkatkan lagi)
$65 \leq X \leq 79,99$	Cukup (harus ditingkatkan performanya, antara diperpanjang dan tidak)
$41 \leq X \leq 64,99$	Jelek (jika pertama kali mencapai ini diberi himbauan agar performa ditingkatkan, jika sampai periode berikutnya tidak berubah, maka kontrak akan diputus, walaupun kontrak belum habis)
$X \leq 40,99$	Jelek sekali (akan langsung diputus kontrak pada periode <i>supplier</i> memperoleh predikat ini)

Progress kinerja pada masing-masing *supplier* juga dapat diketahui dengan menghitung nilai indeks *performance indicator* (IP) berdasarkan hasil nilai akhir pada periode 1 dan periode 2. Formulasi untuk menghitung nilai IP adalah sebagai berikut.

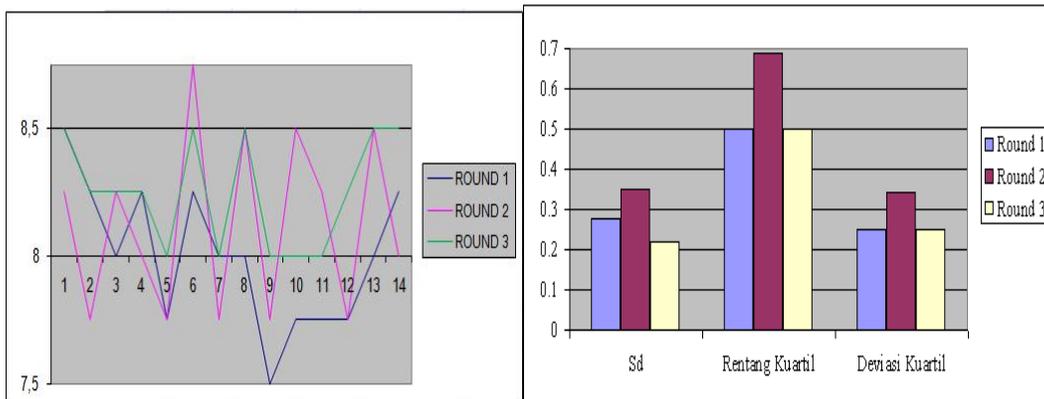
$$IP = \frac{\text{Nilai_Evaluasi_Periode_Sekarang} - \text{Nilai_Evaluasi_Periode_Sebelumnya}}{\text{Nilai_Evaluasi_Periode_Sebelumnya}} \times 100$$



HASIL DAN PEMBAHASAN

Penjaringan opini dengan metode Delphi dihentikan pada putaran ke-3, karena nilai rata-ran kelompok menunjukkan nilai di atas 6 dan jawaban partisipan cenderung bersifat konvergen. Analisa statistik digunakan untuk mengetahui apakah nilai rata-ran kelompok sudah menunjukkan nilai konvergen atau belum. Hasil dari perhitungan statistik dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan pada Gambar 2 terlihat bahwa grafik nilai rata-ran kelompok, nilai standar deviasi, rentang kuartil, dan deviasi kuartil rata-ran kelompok pada putaran ke-3 menunjukkan nilai yang seragam dan terkecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa jawaban pada putaran ke-3 adalah yang paling konvergen.

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode delphi, terdapat 14 kriteria evaluasi kinerja *supplier* kertas yang dipilih oleh perusahaan. Kriteria yang digunakan antara lain “Ketepatan kualitas (kuantitatif)”, “Ketepatan Waktu kirim (kuantitatif)”, “Ketepatan jumlah pengiriman (kuantitatif)”, dan “Ketepatan *packaging* (kuantitatif)” yang dirangkum dalam variabel ketepatan. “Keringanan Waktu pembayaran (kuantitatif)”, “*communication system* (kualitatif)”, “Prosedur komplain (kualitatif)”, “*Responsiveness* (kualitatif)”, “garansi dan layanan pengaduan (kualitatif)”, dan “Informasi teknis (kualitatif)” yang dirangkum pada variabel *service*. “Harga kertas (kuantitatif)”, dan “Diskon berjenjang (kualitatif)” yang dirangkum pada variabel *Price*. “*Green product* (kualitatif)”, dan “*Green Process* (kualitatif)” yang dirangkum pada variabel *Green supplier*.



Keterangan Kriteria:

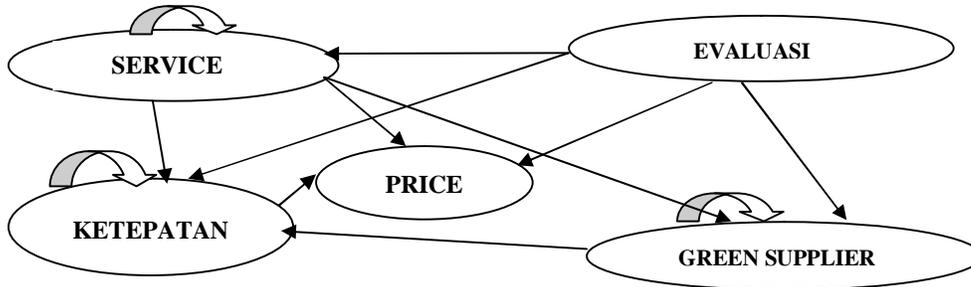
1=Ketepatan kualitas; 2=Ketepatan Waktu kirim; 3=Ketepatan jumlah pengiriman; 4=Ketepatan *packaging*; 5=Keringanan Waktu pembayaran; 6=*communication system*; 7=Prosedur komplain; 8=*Responsiveness*; 9=garansi dan layanan pengaduan; 10=Informasi teknis; 11=harga kertas; 12=Diskon berjenjang; 13=*Green product*; 14=*Green Process*

Gambar 2. Ringkasan Hasil Statistik Metode Delphi

Analisa hasil Dematel dilakukan setelah kriteria kinerja teridentifikasi. Hasil Dematel menunjukkan bahwa kriteria *responsiveness* merupakan kriteria yang paling dominan pada kelompok kriteria *prominance* dengan nilai 1,186. Nilai D-R pada kriteria *responsiveness* menunjukkan nilai positif terbesar dengan 0,978. Hal ini membuat *responsiveness* menjadi kriteria yang sangat dominan pada kelompok kriteria *causal* atau penyebab. Berdasarkan nilai D-R, kriteria yang termasuk dalam kriteria paling dipengaruhi pada kelompok *effect* dengan nilai negatif terbesar adalah ketepatan jumlah pengiriman dengan nilai -0,468. *Ouput* dari Dematel juga akan menunjukkan model keterkaitan antar kriteria yang digambarkan pada Gambar 3 berikut ini. Model



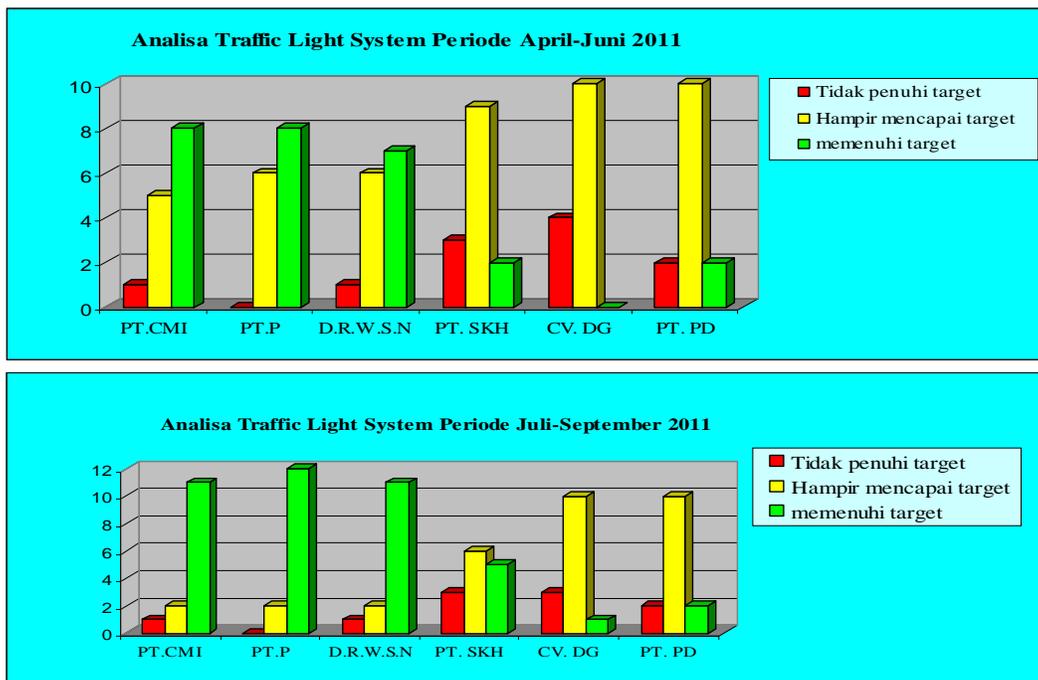
keterkaitan pada Gambar 3 menunjukkan adanya keterkaitan pada sistem baik secara *Innerdependence* (*cluster service*, ketepatan, dan *green supplier*) maupun *Outerdependence*. Model keterkaitan pada Gambar 3 digunakan sebagai dasar pada perhitungan bobot prioritas seluruh kriteria evaluasi dengan menggunakan metode ANP.



Gambar 3. Model Keterkaitan Sistem Evaluasi Kinerja *Supplier*

Hasil perhitungan bobot prioritas menghasilkan 5 kriteria yang cukup penting pada sistem evaluasi kinerja *supplier* kertas, yaitu ketepatan kualitas, *green process*, ketepatan jumlah kirim, *green product*, dan ketepatan waktu kirim. Kriteria dikatakan penting karena jumlah persentase prioritas dari 5 kriteria tersebut mencapai 81,4%.

Penilaian pada kriteria kuantitatif dilakukan dengan metode *scoring system* pada tiap kriteria kuantitatif. Rumus *scoring system* secara lebih lengkap dapat dilihat pada Laporan Tesis. Sistem penilaian ini ditentukan berdasarkan *brainstorming* dengan pihak manajemen terkait. Adapun kriteria kualitatif diukur dengan menggunakan kuesioner kepuasan dengan rentang nilai 1-5 (skala *likert*). Normalisasi hasil penilaian kriteria kuantitatif dan kualitatif dapat dianalisa dengan *traffic light system*. Hasil global *traffic light system* pencapaian kinerja *supplier* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Global *Traffic Light System* April-Juni 2011 dan Juli- September 2011



Berdasarkan *traffic light system* dapat disimpulkan bahwa performa *supplier* secara keseluruhan menunjukkan *progress* yang positif. Hal ini terlihat dari makin menurunnya kriteria yang berwarna merah pada periode Juli- September 2011. Hasil *traffic light system* juga telah menunjukkan keunggulan yang dimiliki oleh masing-masing *supplier*. PT. CMI, PT. P, dan D.R.W.S.N memiliki keunggulan yang hampir merata di seluruh kriteria kinerja. Perbedaan yang paling jelas diantara tiga *supplier* tersebut adalah terletak pada kriteria Harga. PT. P adalah satu- satunya *supplier* yang hampir bisa mencapai target perusahaan pada kriteria harga. PT. SKH dan PT. PD menunjukkan keunggulan kinerja pada kriteria ketepatan kualitas dan ketepatan waktu kirim. PT. SKH dan PT. PD merupakan *supplier* khusus untuk kertas HVS. PT. SKH juga memiliki keunggulan pada kriteria *communication system*, *green product*, dan *green process*. Perusahaan juga akan memiliki banyak pilihan untuk memilih *supplier* yang memasok kertas NCR. Pilihan tersebut jatuh pada CV. DG. Perusahaan ini memiliki performa yang baik pada kriteria ketepatan kualitas.

Hasil evaluasi juga menunjukkan nilai, ranking akhir, dan predikat *supplier* pada periode 1 dan periode 2. Hasil-hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. PT. CMI merupakan *supplier* terbaik pada evaluasi periode ke-1, sedangkan D.R.W.S.N merupakan *supplier* terbaik pada evaluasi kinerja periode ke-2. Pergeseran nilai dan ranking terjadi pada beberapa *supplier* dikarenakan terdapat perbedaan pencapaian pada nilai indeks *performance* (IP). Berdasarkan perhitungan, nilai IP pada PT.P merupakan yang terbaik dengan nilai 48,22; kemudian disusul oleh D.R.W.S.N dan PT. PD yang secara berturut-turut berhasil mencapai nilai IP sebesar 46,03 dan 45,85.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Periode ke-1 (April-Juni 2011)

Ranking	Supplier	Total	Predikat
1	D.R.W.S.N	94.11	Sangat Baik
2	PT.P	93.50	Sangat Baik
3	PT.CMI	93.09	Sangat Baik
4	PT. PD	83.44	Baik
5	PT. SKH	83.83	Baik
6	CV. DG	77.68	Cukup

Tabel 4. Hasil Evaluasi Periode ke-2 (Juli-September 2011)

Ranking	Supplier	Total	Predikat
1	PT.CMI	92.67	Sangat Baik
2	D.R.W.S.N	92.55	Sangat Baik
3	PT.P	91.08	Sangat Baik
4	PT. SKH	81.55	Baik
5	PT. PD	80.90	Baik
6	CV. DG	74.87	Cukup

Nilai IP yang cukup tinggi membuat tiga *supplier* tersebut mengalami kenaikan nilai dan ranking pada periode evaluasi ke-2. Adapun PT. CMI mengalami penurunan ranking pada periode ke-2, karena nilai IP-nya hanya sebesar 39,38. Nilai ini jauh di bawah pencapaian dari PT. P, D.R.W.S.N, dan PT. PD.



KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain :

1. Sistem evaluasi *supplier* yang diusulkan merupakan sistem yang ideal untuk diterapkan pada perusahaan, karena menggunakan kriteria dan sistem penilaian yang sesuai dengan kebutuhan dan objektif perusahaan saat ini
2. Terdapat 14 kriteria yang terpilih dari total 28 kriteria usulan untuk digunakan sebagai kriteria evaluasi kinerja *supplier* di PT. XYZ
3. Berdasarkan hasil pembobotan, terdapat 5 kriteria dari total 14 kriteria yang sangat diprioritaskan oleh perusahaan dalam sistem evaluasi usulan, yaitu: Ketepatan Kualitas (20.3%), *Green Process* (19.1%), Ketepatan Jumlah Kirim (19.0%), *Green product* (11.7%), dan Ketepatan waktu Kirim (11.4%)
4. Pada sistem evaluasi usulan diperoleh hasil bahwa PT. CMI adalah *supplier* yang terbaik pada periode evaluasi ke-1, sedangkan D.R.W.S.N telah menjadi yang terbaik pada periode evaluasi ke-2.

Saran yang dapat digunakan acuan pada penelitian selanjutnya antara lain:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk dapat menentukan juga optimasi alokasi order material kertas berdasarkan keunggulan kinerja dan kapasitas *supplier*
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan sistem evaluasi pada penelitian ini dengan sistem dan teknologi informasi sebagai sarana pendukung dalam evaluasi kinerja *supplier*, sehingga proses evaluasi dapat dengan mudah di-*update*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayazit, Ozden. 2006. Use of analytic network process in vendor selection decisions. *Benchmarking: An International Journal Vol. 13 No. 5, 2006 pp. 566-579*. Central Washington University, Washington, District of Columbia
- Cooper, M.W., Armando, dan Michael. 1995. Evaluation Criteria Of State And Privately Owned Latin American Airlines. *Socio-Econ. Plann. Sci. Vol. 29*
- Fu, X; Qinghua, Z; dan Joseph, S. 2010. A Grey-DEMATEL Methodology for Green Supplier Development Program Evaluation .GPMI Working Papers
- Saaty. 1996. Decision Making with Dependence And Feedback The Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh
- Trienekens, J.H. dan Hvolby, H.H.. 2000. Performance Measurement and Improvement in Supply Chain. CINET Conference
- Tzeng, G.,-H., Chiang, C.-H., dan Li, Chung-Wei. 2007. Evaluating Intertwined Effects IN E-Learning Programs: A Novel Hybrid MCDM Model Based On Factor Analysis and DEMATEL. *Expert System with Applications, Vol.32, pp.1028-1044*