

PEMILIHAN TEKNOLOGI PENGECORAN LOGAM DENGAN PENDEKATAN FUZZY AHP DAN FUZZY MCDM

Taufiq Rochman¹

¹ Staf Pengajar - Jurusan Teknik Industri - Fakultas Teknik UNS

Keywords :

Selecting Technology
Fuzzy AHP
Fuzzy MCDM

Abstract :

As an effort to achieve in manufacturing company target, selection of appropriate technology to support an effective and efficient production is very essential. In order to stay in competitive market, a company must anticipate and evaluate technological changing and put it as a technological opportunity to improve company's production process. This research evaluates case study a metal casting industry to solve their problem on making decision to choose the best alternative of program to improve the technology of metal casting. Fuzzy MCDM approach is used to make decision in an uncertain information structure and fuzziness and also decision problem which has group characteristic with complexity to solve conflict among participate. Fuzzy MCDM has two methods that is fuzzy AHP and Fuzzy MCDM. Fuzzy According to fuzzy AHP method obtained by a highest importance weight value for production department is to develop pattern and mould (0.357), department of finishing is to develop pattern and mould (0.278), department of quality control is raw material requirement (0.194). The highest importance weight for geometric mean (compromise value) for all of department is to develop pattern and mould (0.265) and manufacture process (0.213). While highest value rank for geometric mean from all of department is alternatif-3 (182.6) that is technological development of finishing and control quality.

PENDAHULUAN

Teknologi yang terdapat dalam perusahaan adalah teknologi yang berbentuk aset - aset perusahaan. Aset - aset ini terdiri dari *hardware, software, brainware* yang berkaitan dengan pengetahuan kolektif dan kemampuan teknik organisasi yang membentuk suatu sistem (Khalil, 2000). Pengaruh teknologi pada perusahaan berbentuk produk dan jasa (*service*) yang dihasilkan, dan juga sumber - sumber yang berpotensi untuk diproduksi.

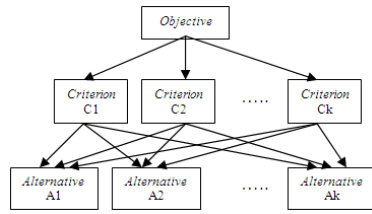
Penelitian yang dilakukan oleh Flynn (2000) pada industri batu bara di Amerika menunjukkan adanya pengaruh perubahan teknologi terhadap peningkatan proses produksi perusahaan yaitu peningkatan perencanaan dan penjadwalan produksi, perbaikan proses penambangan dan pemeliharaan peralatan produksi. Pengaruh teknologi ini juga menyebabkan peningkatan ketrampilan kerja karyawan dan perbaikan sistem kompensasi perusahaan (Brown and Campbell, 1999). Selain itu teknologi juga mempengaruhi perbaikan proses aliran material dan metode produksi perusahaan (Bendixsen and Dreyer, 2003). Teknologi menambah aset perusahaan dengan merubah sesuatu yang abstrak (*intangible*) menjadi bentuk produk yang riil (*tangible*). (Khalil, 2000)

Metode *Fuzzy Multi Criteria Decision Making* digunakan untuk menyelesaikan problem *decision making* yang terdiri evaluasi multi kriteria dari

sekumpulan alternatif. Menurut Aouam (2003) pengambilan keputusan dalam struktur informasi yang tidak pasti (*uncertainty*) dan kabur (*fuzziness*) menggunakan metode matematis yang bersifat *crisp* kurang tepat. Pendekatan metode yang menggabungkan teori fuzzy dan subjektivitas (*ambiguitas*) untuk mendapatkan pendekatan keputusan yang lebih tepat dan fleksibel. Metode yang diusulkan dapat dilakukan dengan input yang bersifat *crisp* dan fuzzy.

Fuzzy Decision Making

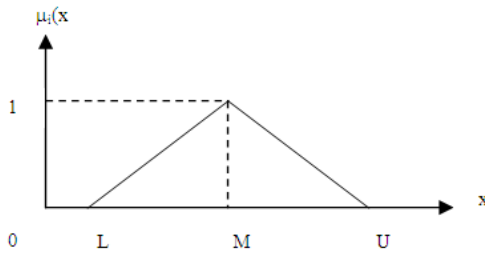
Di dalam *fuzzy decision making* ada 3 aktivitas penyelesaian problem keputusan yaitu : 1) mengidentifikasi tujuan problem keputusan (*decision goal*) dan penentuan alternatif keputusan, 2) mengidentifikasi kelompok kriteria keputusan, dan 3) menyusun struktur hirarki dari problem keputusan. Tujuan (*goal*) dapat ditampilkan dengan kata sifat atau nilai numerik mengikuti karakteristik problem. Jika sejumlah n *decision alternative* dari suatu problem, maka sekumpulan alternatif keputusan ditetapkan sebagai $A = \{A_i, i = 1, 2, 3, \dots, n\}$. Dan sekumpulan k *fuzzy decision criteria* ditetapkan sebagai $C = \{C_t, t = 1, 2, 3, \dots, k\}$. Setelah menetapkan *decision goal, decision criteria* dan *decision alternative*, problem keputusan dapat ditunjukkan dalam struktur hirarki, yang disebut dengan pohon keputusan (*decision tree*) seperti gambar berikut ini :



Gambar 1. Struktur hirarki dalam problem keputusan.

Berdasarkan definisi dari Laarhoven dan Pedrycz dalam Hsieh (2004), fungsi keanggotaan segitiga (*triangular fuzzy number* (TFN)) mengikuti bentuk dasar berikut ini : keanggotaan fuzzy A terhadap R adalah fungsi keanggotaan segitiga (TFN) jika fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}}^{\infty}(X) : R \rightarrow [0,1]$ dirumuskan:

$$\mu_{\tilde{A}}^{\infty}(x) = \begin{cases} (X-L)/(M-L), & L \leq X \leq M \\ (U-X)/(U-M), & M \leq X \leq U \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases} \quad (1)$$



Gambar 2. Fungsi keanggotaan segitiga (*triangular fuzzy number*).

Batasan pada operasi aritmatik himpunan fuzzy meliputi penjumlahan (*addition*), pengurangan (*subtraction*), perkalian (*multiplication*), dan pembagian (*division*). Dengan menggunakan konsep α -cuts operasi bilangan fuzzy (*fuzzy number*) A dan B dirumuskan :

Penjumlahan (Addition)

$$A + B \equiv [a_1^{\alpha}, a_2^{\alpha}] + [b_1^{\alpha}, b_2^{\alpha}]$$

$$A + B = [a_1^{\alpha} + b_1^{\alpha}, a_2^{\alpha} + b_1^{\alpha}] \quad (2)$$

Pengurangan (Subtraction)

$$A - B \equiv [a_1^{\alpha}, a_2^{\alpha}] - [b_1^{\alpha}, b_2^{\alpha}]$$

$$A - B = [a_1^{\alpha} - b_2^{\alpha}, a_2^{\alpha} - b_1^{\alpha}] \quad (3)$$

Perkalian (Multiplication)

$$A.B \equiv [a_1^{\alpha}, a_2^{\alpha}] [b_1^{\alpha}, b_2^{\alpha}]$$

$$A.B = [a_1^{\alpha} \cdot b_1^{\alpha}, a_2^{\alpha} \cdot b_2^{\alpha}] \quad (4)$$

Pembagian (Division)

$$A : B \equiv [a_1^{\alpha}, a_2^{\alpha}] : [b_1^{\alpha}, b_2^{\alpha}]$$

$$A : B = \left[\frac{a_1^{\alpha}}{b_2^{\alpha}}, \frac{a_2^{\alpha}}{b_1^{\alpha}} \right] \quad (5)$$

Berdasarkan operasi bilangan fuzzy Buckley dan Hsieh merumuskan problem multi kriteria dengan menggunakan bilangan fuzzy. Buckley (1985) merumuskan perankingan alternatif menggunakan *fuzzy number*, dimana problem perankingan alternatif dengan m alternatif ditetapkan sebagai A_1, A_2, \dots, A_m , dengan sekelompok penilai (*judgment*) terdiri dari n *experts* ditetapkan J_1, J_2, \dots, J_n . Dan sejumlah k kriteria ditetapkan C_1, C_2, \dots, C_n . Nilai a_{ij}^k merupakan *fuzzy number* yang menunjukkan pilihan alternatif A_i oleh penilai J_i untuk kriteria C_k . Nilai b_{kj} merupakan *fuzzy number* yang menunjukkan tingkat kepentingan kriteria C_k yang diberikan oleh penilai (*expert*) J_i .

Penentuan ranking dilakukan dengan penjumlahan fuzzy (*fuzzy addition*) dan perkalian fuzzy (*fuzzy multiplication*) :

$$\bar{m}_{ik} = \left(\frac{1}{n} \right) \otimes [\bar{a}_{i1}^k \oplus \bar{a}_{i2}^k \oplus \dots \oplus \bar{a}_{in}^k] \quad (6)$$

$$\bar{n}_k = \left(\frac{1}{n} \right) \otimes [\bar{b}_{k1} \oplus \bar{b}_{k2} \oplus \dots \oplus \bar{b}_{kn}] \quad (7)$$

Pembobotan fuzzy (*fuzzy weight*) dirumuskan :

$$\tilde{w}_i = \left(\frac{1}{kL} \right) \otimes [(\bar{m}_{i1} \otimes \bar{n}_1) \oplus \dots \oplus (\bar{m}_{ik} \otimes \bar{n}_k)] \quad (8)$$

Fuzzy ranking \tilde{w}_{i1} untuk pilihan alternatif i untuk tiap evaluator k dirumuskan :

$$\tilde{w}_{ij} = \left(\frac{1}{k} \right) \otimes [(\tilde{a}_{ij}^k \otimes \tilde{b}_{ij}^k) \oplus \dots \oplus (\tilde{a}_{ij}^k \otimes \tilde{b}_{ki}^k)] \quad (9)$$

\tilde{w}_{ij} adalah *fuzzy average* untuk semua kriteria.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Teknik Penentuan Alternatif dengan Fuzzy Synthetic Decision

Metode yang digunakan dalam penelitian berdasarkan model yang dirumuskan oleh Hsieh et al (2004). Model ini menggunakan keanggotaan himpunan fuzzy pada penilaian perbandingan berpasangan tiap - tiap elemen/kriteria secara berpasangan, dinotasikan sebagai berikut:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{a}_{12} & \dots & \bar{a}_{1n} \\ \bar{a}_{21} & 1 & \dots & \bar{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{a}_{n1} & \bar{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{a}_{12} & \dots & \bar{a}_{1n} \\ 1/\bar{a}_{12} & 1 & \dots & \bar{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\bar{a}_{1n} & 1/\bar{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

dimana nilai \tilde{a}_{ij} ditetapkan sebagai berikut :

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9}, & \text{kriteria i relatif penting terhadap kriteria j} \\ 1, & i = j \\ \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1}, & \text{kriteria i relatif tidak penting terhadap kriteria j} \end{cases}$$

Teknik rata - rata geometris (*geometric mean technique*) untuk menentukan *fuzzy geometric mean*

dan pembobotan fuzzy dari tiap kriteria dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n}, \quad (11)$$

$$\tilde{w} = \tilde{r}_1 \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (12)$$

Penetapan nilai \tilde{E}_i^k , menunjukkan nilai performansi yang bersifat fuzzy dari k evaluator terhadap alternatif i pada kriteria j, dan semua kriteria evaluasi ditunjukkan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\tilde{E}_{ij}^k = (LE_{ij}^k, ME_{ij}^k, UE_{ij}^k) \quad (13)$$

Penentuan nilai \tilde{E}_{ij} melalui nilai rata-rata dengan mengintegrasikan nilai yang bersifat fuzzy dari m evaluator dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tilde{E}_{ij} = (1/m) \otimes (\tilde{E}_{ij}^1 \oplus \tilde{E}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{E}_{ij}^m) \quad (14)$$

Nilai \tilde{E}_{ij} menunjukkan rata - rata jumlah penilaian fuzzy dari pengambil keputusan, yang ditampilkan melalui fungsi keanggotaan segitiga dimana $\tilde{E}_{ij} = (LE_{ij}, ME_{ij}, UE_{ij})$ dengan nilai LE_{ij} , ME_{ij} dan UE_{ij} dapat diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$LE_{ij} = (\sum_{k=1}^m LE_{ij}^k)/m; ME_{ij} = (\sum_{k=1}^m ME_{ij}^k)/m; UE_{ij} = (\sum_{k=1}^m UE_{ij}^k)/m \quad (15)$$

Hasil akhir merupakan matrik keputusan pembentukan fuzzy (*fuzzy syntehetic decision*) dengan persamaan berikut :

$$\tilde{R} = \tilde{E} \circ \tilde{w} \quad (16)$$

Nilai *fuzzy number* $\tilde{R}_i = (LR_i, MR_i, UR_i)$ dengan LR_i , MR_i , dan UR_i sebagai nilai batas bawah, tengah dan batas atas merupakan nilai simetris dari alternatif dengan persamaan sebagai berikut :

$$LR_i = \sum_{j=1}^n LE_{ij} \times Lw_j, MR_i = \sum_{j=1}^n ME_{ij} \times Mw_j, UR_i = \sum_{j=1}^n UE_{ij} \times Uw_j \quad (17)$$

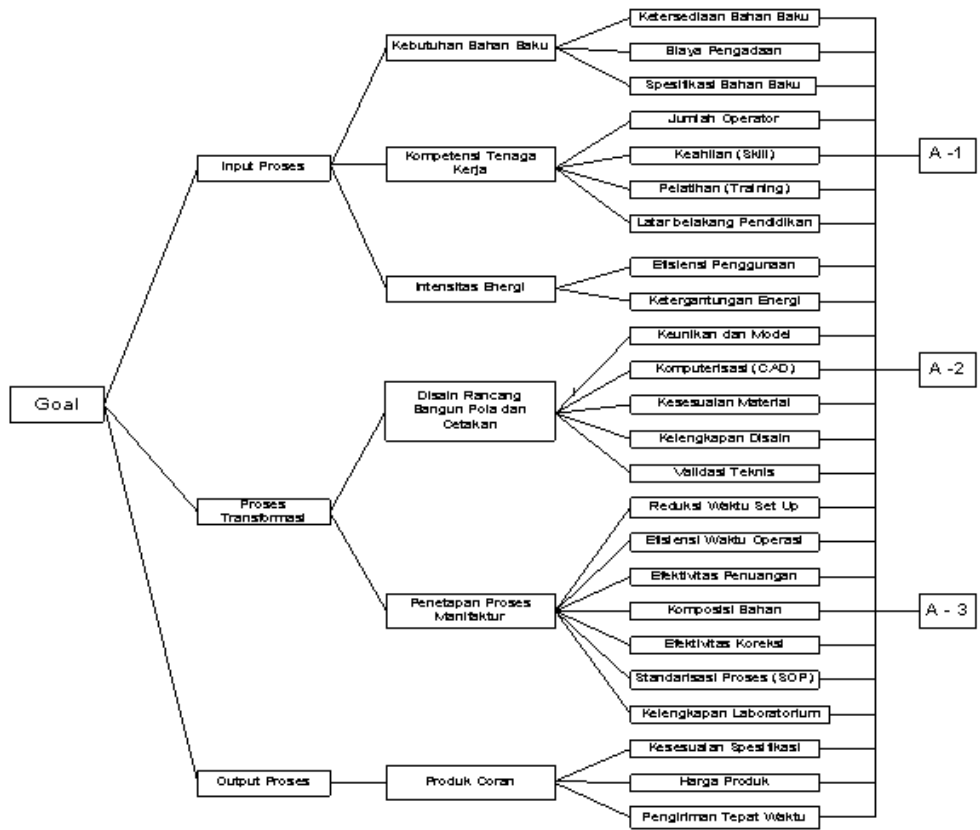
Metode perangkingan nonfuzzy dilakukan dengan defuzzifikasi menggunakan model *Best Nonfuzzy Performance Value* (BNP) dengan persamaan berikut :

$$BNP_i = [(UR_i - LR_i) + (MR_i - LR_i)]/3 + LR_i \quad (18)$$

Berdasarkan nilai dari BNP untuk tiap alternatif, ranking dari tiap alternatif dapat ditentukan.

2. Hirarki Keputusan Pemilihan Teknologi Pengecoran Logam

Identifikasi terhadap kriteria - kriteria teknis pada pemilihan teknologi pengecoran yang berbasis pada domain operasi dan faktor kemampuan dan pemahaman teknologi. Hasil dari penilaian dari pihak perusahaan dan pihak yang ahli dalam teknologi pengecoran logam digambarkan dalam diagram hirarki keputusan yang berisi model pemilihan teknologi proses pengecoran logam (Gambar 3).



Gambar 3. Struktur hirarki kriteria pengembangan teknologi pengecoran logam.

Responden terdiri sekelompok ahli (*expert*) yang melakukan penilaian terhadap komponen kriteria dan sub kriteria yang berkaitan dengan pengembangan teknologi pengecoran logam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penerapan model *fuzzy decision making* berupa pembobotan kriteria yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan fuzzy AHP yang didasarkan pada fungsi keanggotaan fuzzy dari skala linguistik seperti yang disebutkan dalam tabel berikut :

Tabel 1. Fungsi keanggotaan fuzzy.

Fuzzy number	Linguistik skales	Scale of fuzzy number
$\tilde{1}$	Equally important (Eq)	(1,1,3)
$\tilde{3}$	Weakly important (Wk)	(1,3,5)
$\tilde{5}$	Essentially important (Es)	(3,5,7)
$\tilde{7}$	Very strongly Important Vs)	(5,7,9)
$\tilde{9}$	Asolutely important (Ai)	(7,9,9)

Berdasarkan matrik perbandingan berpasangan yang telah diperoleh dalam bentuk skala linguistik kemudian dirubah dalam skala bilangan fuzzy. Hasil penilaian k responden (*group decision*) terhadap preferensi perbandingan berpasangan untuk skala fuzzy dapat dilihat pada Tabel 2.

Perhitungan menggunakan model *fuzzy geometric mean* untuk menentukan matrik *synthetic pairwise comparison* dengan persamaan berikut :

$$\tilde{a}_{ij} = (\tilde{a}_{ij}^1 \tilde{a}_{ij}^2 \tilde{a}_{ij}^3 \dots \tilde{a}_{ij}^n)^{1/n}$$

$$\tilde{a}_{12} = ((1,1,3) \times (1,3,5))^{1/2}$$

$$= ((1 \times 1)^{1/2}, (1 \times 3)^{1/2}, (3 \times 5)^{1/2})$$

$$= (1; 1,732; 3,873)$$

Tabel 2. Data perbandingan berpasangan antar kriteria (responden 1).

PI	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{1}$
K2	$\tilde{1}$	1	$\tilde{3}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
K3	$\tilde{3}$	$\tilde{3}^{-1}$	1	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$
K4	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	1	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
K5	$\tilde{7}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	1	$\tilde{3}$
K6	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	1

Tabel 3. Data perbandingan berpasangan antar kriteria (responden 2).

PII	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	$\tilde{3}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$
K2	$\tilde{3}^{-1}$	1	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
K3	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	1	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}$
K4	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}$	1	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$
K5	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	1	$\tilde{3}$
K6	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	1

Tabel 4. Nilai matrik *synthetic pairwise comparison* untuk perbandingan kriteria dept. produksi.

	K1			K2			K3		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
K1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.732	3.873	0.169	0.258	0.577
K2	0.258	0.577	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.732	3.873
K3	1.732	3.873	5.916	0.258	0.577	1.000	1.000	1.000	1.000

	K4			K5			K6		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
K1	1.000	3.000	5.000	0.149	0.218	0.447	1.000	1.000	3.000
K2	0.200	0.333	1.000	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	3.000
K3	0.169	0.258	0.577	0.169	0.258	0.577	1.000	1.732	3.873

Penentuan bobot kriteria untuk tiap kelompok responden dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\tilde{r}_1 = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n}$$

$$\tilde{r}_1 = ((1 \times 1 \times 0,169 \times 1 \times 0,149 \times 1)^{1/6};$$

$$(1 \times 1.732 \times 0.258 \times 3 \times 0.218 \times 1)^{1/6};$$

$$(1 \times 3.873 \times 0.577 \times 5 \times 0.447 \times 3)^{1/6})$$

$$= (0.541; 0.815; 1.571)$$

Bobot tiap kriteria dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\tilde{w} = \tilde{r}_1 \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}$$

$$\tilde{w}_1 = (0.541; 0.815; 1.571) \times$$

$$(1/(1.571+1.808+1.403+2.964+2.416+0.912);$$

$$1/(0.815+0.833+0.798 +1.721+1.770+0.606);$$

$$1/(0.541+0.610+0.483+0.918+0.833+0.315))$$

$$= (0.049; 0.125; 0.424)$$

Proses defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan metode *Best Nonfuzzy Performance Value* (BNP) dengan persamaan berikut :

$$BNPw_i = [(Uw_i - Lw_i) + (Mw_i - Lw_i)]/3 + Lw_i \forall i$$

$$BNPw_1 = [(0.424 - 0.049) + (0.125 - 0.049)]/3 + 0.049$$

$$= 0.167$$

Tabel 5. Nilai bobot dimensi dan kriteria departemen produksi.

Dimensi/kriteria	Bobot lokal			Bobot Keseluruhan			Defuzzy
	a	b	c	a	b	c	
Komponen Input	0.145	0.352	1.059				0.518
Bahan Baku	0.049	0.125	0.424	0.007	0.044	0.449	0.167
Kompetensi T. K.	0.055	0.127	0.488	0.008	0.045	0.517	0.190
Intensitas Energi	0.044	0.122	0.379	0.006	0.043	0.402	0.150
Komponen Transformasi	0.157	0.507	1.153				0.606
Rancang Bangun	0.083	0.263	0.801	0.013	0.133	0.924	0.357
Proses casting	0.075	0.271	0.653	0.012	0.137	0.753	0.301
Komponen Output	0.065	0.141	0.516				0.240
Produk Coran	0.028	0.093	0.247	0.002	0.013	0.127	0.047

Hasil perhitungan bobot kriteria untuk departemen produksi ditunjukkan dalam Tabel 5. Berdasar tabel di atas didapat bobot dimensi dan kriteria dalam skala bilangan fuzzy. Untuk mendapatkan bobot yang bersifat crisp diperoleh dengan melakukan defuzzy. Hasil defuzzy menunjukkan dimensi proses transformasi mempunyai bobot terbesar (0.606) sedangkan bobot kriteria terbesar pada kriteria rancang bangun pola dan cetakan pengecoran logam. Bobot keseluruhan (*overall weight*) dalam skala bilangan fuzzy akan berhubungan dalam penentuan bobot sub kriteria.

Pemilihan alternatif mengikuti model Buckley yang dikembangkan oleh Hsieh et.al.(2004) dimana penilaian dilakukan oleh kelompok penilai sejumlah k responden (*group decision*). Skala penilaian linguistik bewserta fungsi keanggotaan fuzzy oleh k responden (*group decision*) ditunjukkan dalam tabel 5. Hasil penilaian bobot preferensi k responden terhadap level skala linguistik performansi alternatif ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Nilai bobot preferensi pengukuran performansi alternatif.

Rpdn	VARIABEL LINGUISTIK														
	Sangat kurang (SK)			Kurang (K)			Cukup (C)			Baik (B)			Sangat baik (SB)		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	0	0	17	17	25	33	38	50	62	68	75	82	85	100	100
2	0	0	15	17	25	33	38	50	62	68	75	82	85	100	100
3	0	0	13	13	25	38	38	50	62	60	75	90	90	100	100
4	0	0	20	17	25	33	40	55	70	70	75	80	87	100	100
5	0	0	13	15	25	35	38	50	62	63	75	87	87	100	100
6	0	0	15	13	25	38	38	50	62	63	75	87	87	100	100

Tabel 7. Penilaian performansi alternatif dalam skala linguistik.

SK	(A1)						(A2)			(A3)		
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E1	...	E6	E1	...	E6
SK1	B	C	B	C	C	C	B	...	K	C	...	C
SK2	B	K	C	B	K	B	SB	...	C	K	...	SK
SK3	B	SB	K	SB	SB	SB	B	...	B	B	...	SB
SK4	B	K	SK	B	B	C	B	...	K	B	...	B
SK5	C	SB	SB	B	SB	SB	B	...	B	B	...	SB
...
SK24	B	C	C	SB	SB	B	SB		B	K		C

Penentuan nilai rata-rata *fuzzy performance* seluruh responden dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\tilde{E}_{ij} = (1/m) \otimes (\tilde{E}_{ij}^1 \oplus \tilde{E}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{E}_{ij}^m)$$

$$\tilde{E}_{11} = ((68+38+60+40+38+38)/6, (75+50+75+55+50+50)/6, (82+62+90+70+62+62)/6)$$

$$= (47,0; 59,2; 71,3)$$

Tabel 8. Nilai rata - rata *fuzzy performance* alternatif.

SK	A-1			A-2		
	a	b	c	a	b	c
SK1	47.0	59.2	71.3	32.5	41.7	54.3
SK2	45.2	54.2	63.2	34.7	45.8	54.7
SK3	71.5	83.3	86.7	42.8	50.0	62.7
SK4	42.7	50.0	59.5	23.8	33.3	43.2
SK5	76.5	87.5	90.3	60.3	70.8	81.3
...
SK24	63.5	75.0	82.2	67.3	79.2	88.5

Penentuan nilai *fuzzy synthetic decision* dilakukan dengan perkalian antara nilai *fuzzy performance* \tilde{E} dengan nilai bobot keseluruhan (*overall weight*) \tilde{w} dengan persamaan berikut :

$$\tilde{R}_i = \left(\sum_{j=1}^{24} LE_{ij} \times Lw_{j,} \sum_{j=1}^{24} ME_{ij} \times Mw_{j,} \sum_{j=1}^{24} UE_{ij} \times Uw_{i,} \right)$$

$$\tilde{R}_1 = ((47.0 \times 0.0014 + 45.2 \times 0.0013 + \dots + 63.5 \times 0.0001), (59.2 \times 0.0194 + 54.2 \times 0.0169 + \dots + 75.0 \times 0.0022), (71.3 \times 0.4885 + 63.2 \times 0.3952 + \dots + 82.2 \times 0.0598))$$

$$= (1.066; 27.929; 627.063)$$

Penentuan bilangan crisp dilakukan dengan defuzifikasi dari bilangan fuzzy dengan metode *Best Nonfuzzy Performance Value (BNP)* sebagaimana

yang diusulkan oleh Hsieh (2003) dengan persamaan sebagai berikut :

$$BNP_i = [(UR_i - LR_i) + (MR_i - LR_i)]/3 + LR_i \quad \forall i$$

$$BNP_1 = [(627.06 - 1.07) + (27.93 - 1.07)]/3 + 1.07$$

$$= 218.7$$

Berdasarkan hasil perhitungan bobot kriteria dan sub kriteria (Tabel 10) dengan menggunakan fuzzy AHP untuk departemen produksi bobot kepentingan tertinggi adalah kriteria disain rancang bangun pola dan cetakan (0.357) sedangkan kriteria produk coran memiliki bobot kepentingan paling rendah (0.047). Sub kriteria dengan bobot kepentingan tertinggi yaitu komputerisasi fasilitas disain (0.253), sedangkan sub kriteria dengan bobot kepentingan terendah adalah pengiriman tepat waktu (0.021).

Tabel 9. Nilai bobot kriteria, sub kriteria oleh ketiga departemen.

	KRITERIA/SUB KRITERIA	Dept. Produksi	Dept. Finishing	Dept. Quality	Rata-rata*
K1	KEBUTUHAN BAHAN BAKU	0.167	0.164	0.194	0.174
SK1	Ketersediaan bahan baku	0.170	0.151	0.134	0.151
SK2	Biaya pengadaan	0.138	0.127	0.148	0.137
SK3	Spesifikasi bahan baku	0.045	0.074	0.163	0.081
K2	KOMPETENSI TENAGA KERJA	0.190	0.198	0.178	0.188
SK4	Kesesuaian jumlah operator	0.146	0.132	0.093	0.122
SK5	Keahlian	0.153	0.206	0.138	0.163
SK6	Program pelatihan	0.110	0.132	0.128	0.123
SK7	Latar belakang pendidikan	0.047	0.056	0.062	0.055
K3	INTENSITAS ENERGI	0.150	0.074	0.124	0.111
SK8	Efisiensi penggunaan energi	0.201	0.063	0.152	0.125
SK9	Ketertanggung energi listrik	0.062	0.074	0.078	0.071
K4	DISAIN POLA & CETAKAN	0.357	0.278	0.188	0.265
SK10	Keunikan & model	0.226	0.233	0.099	0.173
K11	Komputerisasi fasilitas disain	0.253	0.182	0.110	0.172
K12	Kesesuaian jenis material	0.200	0.084	0.135	0.132
K13	Disain lengkap & ekonomis	0.095	0.113	0.049	0.081
K14	Validasi teknis	0.205	0.092	0.093	0.120
K5	PROSES MANUFAKTUR	0.301	0.206	0.158	0.213
K15	Reduksi waktu <i>set up</i>	0.132	0.113	0.067	0.100
K16	Efisiensi waktu operasi	0.230	0.088	0.059	0.106
K17	Efektivitas teknik penuangan	0.158	0.041	0.057	0.072
K18	Ketepatan komposisi bahan	0.066	0.126	0.095	0.092
K19	Efektivitas tindakan koreksi	0.063	0.084	0.039	0.059
K20	Standarisasi proses operasi	0.097	0.076	0.069	0.080
K21	Kelengkapan laboratorium	0.047	0.037	0.062	0.048
K6	PRODUK CORAN	0.047	0.075	0.141	0.079
K22	Kesesuaian spesifikasi	0.059	0.078	0.138	0.086
K23	Harga	0.030	0.057	0.100	0.055
K24	Pengiriman tepat waktu	0.021	0.027	0.044	0.029

* Diperoleh berdasarkan rata-rata bobot tiap departemen dengan metode *fuzzy geometric mean*.

Tabel 10. Hasil perbandingan alternatif seluruh departemen.

Alternatif/ Skenario	Dept. Produksi		Dept. Finishing		Dept. Q.C.		Compromised *	
	BNP	Rangking	BNP	Rangking	BNP	Rangking	BNP	Rangking
A-1	218.69	3	180.22	2	175.93	1	181.01	2
A-2	221.08	1	179.33	3	171.33	3	180.10	3
A-3	220.60	2	183.32	1	174.14	2	182.60	1

* Dihitung berdasarkan bobot rata - rata seluruh responden dengan *fuzzy geometric mean*.

Departemen *finishing* menunjukkan kriteria disain rancang bangun pola dan cetakan memiliki bobot kepentingan tertinggi (0.278) sedang kriteria intensitas energi memiliki bobot kepentingan terendah (0.075). Penilaian sub kriteria keunikan dan model dengan bobot kepentingan tertinggi (0.233), sedangkan sub kriteria dengan bobot kepentingan terendah adalah pengiriman tepat waktu (0.027). Departemen *quality control* menunjukkan kriteria dengan bobot kepentingan tertinggi yaitu kriteria kebutuhan bahan baku (0.194), sedangkan kriteria intensitas energi (0.124) mempunyai bobot kepentingan terendah. Nilai sub kriteria spesifikasi bahan baku (0.163) mempunyai bobot kepentingan sedangkan sub kriteria dengan bobot kepentingan terendah efektivitas tindakan koreksi (0.039). Nilai bobot kepentingan tertinggi untuk rata - rata ketiga departemen yaitu kriteria disain rancang bangun pola dan cetakan (0.265).

Perhitungan nilai performansi pilihan alternatif dengan model fuzzy MCDM diperoleh departemen produksi dengan pilihan alternatif - 2 (program pengembangan teknologi disain rekayasa pola dan cetakan); departemen *finishing* dengan pilihan alternatif - 3 (program pengembangan teknologi *finishing*); departemen *quality control* dengan pilihan alternatif - 1 (program pengembangan teknologi kualitas proses produksi). Sedangkan pilihan alternatif rata - rata ketiga departemen sebagai alternatif kompromi adalah program pengembangan teknologi *finishing* (alternatif - 3).

KESIMPULAN

Metode *fuzzy multi criteria decision making (FMCDM)* dapat digunakan untuk memecahkan persoalan keputusan dalam struktur informasi yang tidak pasti (*uncertainty*) dan kabur (*fuzziness*) berdasarkan pilihan alternatif dari sekumpulan kriteria yang diberikan oleh k responden. Penentuan bobot dimensi, kriteria dan sub kriteria diperoleh dengan menggunakan fuzzy AHP sedang pilihan performansi alternatif diperoleh dengan pendekatan model fuzzy MCDM. Nilai bobot kompromi ketiga departemen lebih memprioritaskan kriteria disain rancang bangun pola dan cetakan sedangkan pilihan alternatifnya memprioritaskan pada pengembangan teknologi *finishing*.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Najjar B. and Alsyouf I., 2003, "Selecting The Most Efficient Maintenance Approach Using Fuzzy Multiple Kriteria Decision Making", *International Journal of Production Economic*, Vol. 84, No 3, pp. 85 – 100.

Buckey J.J., 1985, *Ranking Alternatifs Using Fuzzy Numbers, Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 15, pp. 21 - 31, North - Holland.

Bendiksen, B.I. and Dreyer, D., 2003, *Technological Changas The Impact on The Raw Material Flow and Production*, Vol 144, No 2, pp. 237 – 246.

Brown C. and Campbelli B., (1999), *Technological Change, Training, and Job Tasks in a High - Tech Industry*, University of California, Berkeley.

Flynn E.J., 2000, *Impact of Technological Change and Productivity on The Coal Market*, Energy Information Administration, Issues in Midterm Analysis and Forecasting, Washington DC, USA.

Hsieh, Lu, and Tzeng, 2004, "Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings", *International Journal of Project Management*, Elsevier.

Khalil, T., 2000, *Management of Technology, The Key To Competitiveness and Wealth Creation*, Mc - Graw Hill, USA.

Moon J.H., and Kang C.S., 2004, *Application of Fuzzy Decision Making Method to The Evaluation of Spent Fuel Storage Options*, Department of Nuclear Engineering, Seoul National University, Korea, http://plaza.snu.ac.kr/~cskang/BK21_1.htm, 11/12/2004.

Surdia, T. & Chijjiwa, K, 2000, *Teknik Pengecoran Logam*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Tabucanon, M.T., 1998, *Multiple Kriteria Decision Making in Industry*, Elsevier Science Publiser B.V., Netherlands.

Wang W., and Fenton N., 2005, *Risk and Confidence Analysis for Fuzzy Multikriteria Decision Making*, Dept Computer Science, Queen Mary University of London.

Zadeh, Lotfi A., 1975, *Fuzzy Sets and Their Appliction to Cognitive and Decision Processes*, Academic Press, New York.