

ANALISIS ALGORITMA MULTI-CRITERIA DECISION MAKING BESERTA PENERAPAN

Aan Fachrul Abid, Adhistira Atmajaya, Ahmad Nufah Primordi, Deri Armanda, Dimas Abdurrahman Sayuti

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No.5, Sumbersari, Kota Malang, Jawa Timur 65145

*Corresponding author, email: aanfachrul@gmail.com

doi: 10.17977/um068.v4.i7.2024.3

Kata kunci

Multi Criteria Decision Making
AHP
Fuzzy
TOPSIS
PROMETHEE

Abstrak

Pengambilan keputusan yang tepat, akurat, dan efisien guna menyelesaikan suatu masalah adalah ekspektasi dari semua pihak. Oleh sebab itu, artikel ini dibuat dengan tujuan untuk mengenalkan algoritma Multi Criteria Decision Making (MCDM) agar dapat memberi bantuan dalam pengambilan keputusan dan membuat alternatif sebagai penyelesaian masalah. Metode MCDM digunakan untuk penerapan dalam penyederhanaan masalah menjadi tiga, diantaranya tujuan, kriteria, dan alternatif yang bisa memberikan solusi dari kriteria yang digunakan untuk menentukan keputusan. Salah satu hasil pendekatan metode MCDM, yaitu metode Analytic Hierarchy Process (AHP). Dengan mengurangi keputusan kompleks untuk serangkaian perbandingan yang berhubungan, dan selanjutnya mensintesis hasilnya, AHP membantu menangkap aspek keputusan yang bersifat berpihak dan yang tidak memihak. Selain metode AHP, terdapat juga beberapa metode lain yang dapat dijadikan perbandingan atau alternatif, yaitu metode Fuzzy, PROMETHEE, serta TOPSIS.

1. Pendahuluan

Proses untuk menunjang produktivitas dan penentuan solusi dalam berbagai masalah memerlukan penerapan suatu sistem yang dapat meringankan pekerjaan dan membantu dalam penyelesaian suatu permasalahan (Triantaphyllou & Shu, 1998). Dalam konteks ini, diperlukan pertimbangan yang cermat dan objektif agar solusi dari permasalahan tercapai sesuai dengan keinginan (Trdin & Bohanec, 2014). Caranya adalah pengambil keputusan perlu melakukan evaluasi terhadap seluruh metode alternatif yang diterapkan, karena alternatif tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing (Bonissone, 2008). Sehingga, pengambil keputusan tidak kesulitan untuk memilih opsi dalam suatu penyelesaian masalah. Dari permasalahan tersebut, dapat disimpulkan bahwa cabang analisis keputusan yang sesuai, tepat, serta efektif, yaitu Multi-Criteria Decision Making (MCDM).

Multicriteria Decision Making (MCDM) adalah teknik untuk mengambil keputusan berdasarkan beberapa alternatif. Pada MCDM memiliki unsur atribut, objektif serta tujuan (Velasquez & Hester, 2013; Trdin & Bohanec, 2014; Bonissone, 2008). Atribut menjelaskan tentang ciri-ciri objek agar dapat diidentifikasi. Objektif menjelaskan tentang arah perbaikan atau kecocokan terhadap atribut untuk mendukung objektivitas. Tujuan menjelaskan apa yang ingin dicapai oleh pengambil keputusan.

Untuk menyelesaikan masalah yang melibatkan pemilihan keputusan, Multicriteria Decision Making (MCDM) mempunyai beberapa model pendekatan yaitu, AHP (analytic hierarchy process), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), FUZZY MCDM dan PROMETHEE (Chen, 2009; Dalalah et al., 2011; Erdogan & Kaya, 2015; Liang, 1993; Singh & Singh, 2018). Semua model pendekatan tersebut memiliki kriteria dan karakteristik masing-masing serta dapat dikombinasikan satu sama lain untuk mencapai tujuan dari pengambil keputusan.

2. METODE

Multi Criteria Decision Making terbagi menjadi beberapa jenis metode yang pada tiap metodenya dapat digunakan untuk permasalahan yang berbeda-beda. Metode yang terdapat pada Multi Criteria Decision Making ini diantaranya adalah :

2.1. Analytic Hierarchy Process (AHP)

Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah suatu teknik yang terstruktur untuk membuat analisis dan mengatur segala keputusan kompleks secara matematis dan secara psikologi (Dalalah et al., 2011; FAZIL et al., 2008; Kahraman et al., 2003; Singh & Singh, 2018; J. Wang et al., 2018; Yamami et al., 2017; J. S. Yang et al., 2012). Dikembangkan oleh seorang ilmuwan yang bernama Thomas L. Saaty pada tahun 1970 (Büyüközkan & Gülerüz, 2016). Mempunyai aplikasi tertentu untuk memberikan keputusan yang berguna di seluruh dunia dalam berbagai situasi, pada bidang pemerintahan, industri, bisnis, kesehatan, dan pendidikan (Kahar & Fitri, 2011; Massam, 1988; Rosnelly & Wardoyo, 2011). Metode AHP membantu proses identifikasi user untuk membuat keputusan yang tepat, akurat dan juga paling cocok untuk tujuan mereka serta memberikan pemahaman yang berhubungan dengan masalah-masalah seputar pemberina keputusan (Boutkhoum & Background, n.d.; Dowie et al., 2015; Garau et al., 2017; Linder & Sexton, 2014).

Metode tersebut memberikan kerangka kerja yang komprehensif dan rasional pada penataan permasalahan keputusan, untuk mewakili dan perhitungan unsur-unsur yang berhubungan dengan tujuan secara keseluruhan, serta untuk mengevaluasi solusi alternatif dari pemecahan masalah (Huang et al., 2011)(Dowie et al., 2015). Proses hierarki analitik memiliki tujuan untuk meraih jumlah yang relatif dan objektif untuk beberapa kriteria secara realistis dan membiarkan perbedaan pendapat dan konflik yang terdapat di dunia (Schinas, 2004; Yamami et al., 2017). Proses hirarki analitik berguna untuk menangani kriteria yang berupa data kuantitatif, kualitatif, nyata, dan tidak berwujud (Thokala et al., 2016; Singh & Singh, 2018; Triantaphyllou & Shu, 1998).

Prosesnya berdasarkan tiga prinsip, yaitu: dekomposisi, penilaian komparatif, dan sintesis prioritas. Proses ini berguna untuk membangun hierarki yang menggunakan perbandingan yang berpasangan di setiap tingkat untuk memperkirakan bobot relatif suatu data (Elanchezhian et al., 2010; Fadlalla et al., 2015; Rikalovic et al., 2014).

Penilaian dalam membandingkan antara satu kriteria dengan kriteria yang lain adalah bebas satu sama lain, dan hal ini dapat mengarah pada ketidak konsistensian. Saaty (1990) telah membuktikan bahwa indeks konsistensi dari matrik berordo n dapat diperoleh dengan rumus :

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1}$$

Dimana :

CI = Indeks Konsistensi (Consistency Index)

λ_{maks} = Nilai eigen terbesar dari matriks berordo n .

2.2. Fuzzy Multi-Criteria Decision Making

Fuzzy Multi-Criteria Decision Making atau yang biasa disingkat dengan FMCDM merupakan salah satu metode untuk pengambilan keputusan yang paling optimal dari beberapa alternatif keputusan lainnya berdasarkan beberapa kriteria yang mempengaruhi hasil keputusan (Jiang & Eastman, 2010). Di dalam metode FMCDM ini terdapat beberapa istilah-istilah penting, diantaranya adalah (Suharyo et al., 2015):

- Alternatif, merupakan suatu obyek yang menjadi calon hasil keputusan. Alternatif ini berjumlah lebih dari satu, dan kesemuanya memiliki kemungkinan untuk menjadi hasil keputusan yang paling optimal.
- Atribut, merupakan kriteria yang mempengaruhi hasil keputusan.
- Bobot, merupakan nilai yang dimiliki oleh alternatif yang menandakan tingkat kepentingan alternatif tersebut.

- Konflik, merupakan perbandingan nilai bobot antar alternatif. Konflik ini terdapat dua kategori yakni benefit serta cost. Kategori benefit memiliki artian bahwa nilai yang terbesar lah yang lebih baik, sebaliknya kategori cost merupakan nilai yang terkecil lah yang lebih baik.

- Matriks keputusan, merupakan matriks X berukuran $m \times n$ yang berisi elemen X_{ij} representasi dari bobot atau rating alternatif A_i terhadap Kriteria K_j .

Secara umum, kinerja dari algoritma Fuzzy Multi Criteria Decision Making ini adalah menentukan terlebih dahulu nilai bobot untuk tiap atribut (Jiang & Eastman, 2010). Kemudian, melakukan proses perankingan nilai bobot tersebut dengan tiap alternatif yang ada untuk dilakukan penyeleksian. Terdapat beberapa pendekatan yang dapat dipakai untuk menentukan nilai bobot di tiap-tiap atribut, yaitu pendekatan subyektif, pendekatan obyektif serta pendekatan kombinasi antara subyektif dan obyektif (Bouyssou, 2001; Madani & Lund, 2011). Penentuan bobot dengan pendekatan subyektif dilakukan dengan cara subyektifitas dari para pengambil keputusan. Kemudian untuk penentuan bobot melalui pendekatan obyektif dilakukan dengan cara menghitung secara matematis dengan rumus yang ada serta mengabaikan penilaian subyektif dari para pengambil keputusan. Sedangkan untuk penentuan bobot dengan pendekatan kombinasi dilakukan dengan cara menghitung nilai bobot dengan cara matematis namun hanya pada beberapa atribut saja yang dipilih berdasarkan penilaian subyektifitas para pengambil keputusan (Salim, 2015; Artana, 2008).

Implementasi nyata algoritma Fuzzy Multi Criteria Decision Making untuk penyelesaian masalah pengambilan keputusan ini terbagi menjadi tiga langkah penting, yakni (Kusumadewi et al., 2005):

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hal yang dilakukan pada langkah penjabaran masalah adalah pertama mengidentifikasi hasil keputusan yang direpresentasikan dengan bahasa natural ataupun dengan nilai numerik sesuai karakteristik yang dimiliki masalah tersebut. Kemudian mengidentifikasi kumpulan alternatif – alternatif keputusannya yang dituliskan dengan simbol A_i hingga A_n . Langkah terakhir adalah mengidentifikasi kriteria yang mempengaruhi hasil keputusan yang dilambangkan dengan C_i hingga C_n serta membentuk struktur hirarki dari masalah yang ada (Kusumadewi et al., 2005; Lyu et al., 2014; Singh & Singh, 2018).

3.1. Evaluasi Himpunan Bobot Fuzzy

Terdapat beberapa langkah yang dilakukan pada tahap evaluasi himpunan bobot Fuzzy. Pertama yaitu menentukan himpunan rating atau bobot (Kusumadewi et al., 2005). Himpunan rating ini memiliki tiga elemen didalamnya yaitu variabel linguistik yang mana representasi nilai bobot kriteria serta derajat kecocokan setiap alternatif dengan kriterianya yang dilambangkan dengan x , kemudian rating dari variabel linguistik yang dilambangkan dengan $T(x)$, serta yang terakhir adalah fungsi keanggotaan dari setiap elemen $T(x)$ yang dihitung menggunakan kurva segitiga. Berikut merupakan rumus untuk menghitung fungsi keanggotaan berdasarkan teori Fuzzy :

$$\mu(x) = \frac{(x - a)}{(b - a)} ; a \leq x \leq b$$

$$\mu(x) = \frac{(x - c)}{(b - c)} ; b \leq x \leq c$$

Langkah selanjutnya adalah proses evaluasi bobot yang terdapat pada tiap kriteria serta derajat kecocokan dari setiap alternatif terhadap kriteria yang ada. Kemudian langkah terakhir dari tahap evaluasi himpunan Fuzzy ini adalah proses aggregasi bobot atau rating dari kriteria dan derajat kecocokan setiap alternatif dengan kriterianya dengan menggunakan metode mean (Delgado & Sendra, 2004). Rumus yang digunakan untuk melakukan proses aggregasi adalah sebagai berikut :

$$F_i = \left(\frac{1}{k}\right) \left[(S_{i1} \otimes W_1) \oplus (S_{i1} \otimes W_1) \oplus \dots \oplus (S_{ik} \otimes W_k) \right]$$

3.2. Pemilihan Alternatif Optimal

Pada tahap pemilihan alternatif optimal ini terlebih dahulu menghitung nilai prioritas dari alternatif keputusan berdasarkan hasil agregrasi serta selanjutnya dilakukan perankingan. Untuk menghitung nilai prioritas dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I_T^{\alpha}(F) = \frac{1}{2}(\alpha c + b + (1 - \alpha)a)$$

Langkah terakhir yang dilakukan pada algoritma Fuzzy Multi-Criteria Decision Making ini adalah proses pemilihan alternatif keputusan. Alternatif keputusan yang paling optimal dapat diambil berdasarkan nilai prioritas terbesar yang telah dihitung, sehingga alternatif keputusan dengan nilai prioritas terbesar lah yang akan menjadi alternatif keputusan yang paling optimal.

3.2.1. Technique for Order Preference by Similiarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Merupakan metode yang dikemukakan oleh Chen dan Hwang (1992), dimana mereka menggunakan referensi dari Hwang and Yoon (1981), Y. M. Wang and Elhag, (2006). TOPSIS merupakan sebuah metode yang menggunakan pendekatan dua solusi alternatif, yaitu yang memiliki kemungkinan paling dekat dengan hasil yang dirasa cocok, dan alternatif yang memiliki kemungkinan paling jauh dengan hasil yang dirasa paling tidak cocok (De Brito & Evers, 2016; Pramudhita et al., 2015). Metode ini menggunakan konsep dimana solusi alternatif yang paling baik adalah yang memiliki nilai paling tinggi di semua atribut (Ananda & Herath, 2009; Opricovic & Tzeng, 2004; Pramudhita et al., 2015; J. S. Yang et al., 2012).

Metode ini memiliki beberapa keuntungan salah satunya adalah, jumlah langkah proses yang dilakukan tidak akan bertambah walaupun atribut yang dimiliki sangat banyak (Sánchez-Lozano & Fernández-Martínez, 2016; Stanujkić et al., 2013). Metode ini bekerja dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menghitung matriks keputusan yang telah dinormalisasi, hasilnya adalah “rij”, dengan cara perhitungan seperti berikut :

$$r_{ij} = f_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^J f_{ij}^2}$$

Dimana $j = 1, \dots, J$, dan $i = 1, \dots, n$.

2. Menghitung hasil dari pertimbangan matriks diatas. Nilai pertimbangan matriks normalisasi adalah “Vij”, yang dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$V_{ij} = w_i \times r_{ij}$$

Dimana $j = 1, \dots, J$; dan $i = 1, \dots, n$.

3. Menentukan solusi ideal dan solusi yang tidak ideal, dengan rumus seperti dibawah ini :

$$A^* = \{V_1^*, \dots, V_n^*\} = \left\{ \left(\max_j V_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j V_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\}$$

$$A^- = \{V_1^-, \dots, V_n^-\} = \left\{ \left(\max_j V_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j V_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\}$$

I' berhubungan dengan kriteria keuntungan, dan I'' berhubungan dengan kriteria biaya.

4. Menghitung jarak pemisahan solusi ideal dan solusi tidak ideal menggunakan “n-dimensional Euclidean distance”, dengan penghitungan sebagai berikut :

- Perhitungan untuk solusi ideal,

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2}$$

Dimana $j = 1, \dots, J$.

- Perhitungan untuk solusi tidak ideal,

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

Dimana $j = 1, \dots, J$.

5. Menghitung kedekatan relatif dengan solusi ideal dari hasil pemisahan diatas. Kedekatan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

$$C_j^* = D_j^- / (D_j^* + D_j^-),$$

6. Mengurutkan hasil yang didapat dari perhitungan kedekatan relatif, mulai dari yang paling ideal hingga yang paling tidak ideal.

3.2.2. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (disingkat PROMETHEE) merupakan salah satu metode decision making yang dikembangkan pada tahun 1980 dan didasarkan pada matematika dan sosiologi (Tobergte & Curtis, 2013). Metode PROMETHEE membantu pengambil keputusan untuk mencari alternatif yang paling cocok ke tujuan dan pemahaman masalah, daripada mencari keputusan yang benar. Metode ini memiliki implementasi khusus di decision making, dan digunakan untuk berbagai macam masalah yang melibatkan pengambilan keputusan seperti transportasi, pendidikan, kesehatan, bisnis, dan institusi pemerintah (Rizkani & Ciptomulyono, 2012) (Huang et al., 2011). PROMETHEE secara sukses telah digunakan pada konteks pengambilan keputusan (Schinas, 2004; Lyu et al., 2014).

PROMETHEE dapat menentukan batas preferensi dan mampu mengabaikan elemen yang kurang memadai. Penerapan yang dapat dilakukan PROMETHEE adalah saat preferensi antara dua tindakan pada kriteria yang diberikan pada skala rasio berhasil diekspresikan oleh pengambil keputusan.

Masalah pilihan yang kompleks dan tidak pasti yang melibatkan banyak pengambil keputusan dan beberapa kriteria dapat diselesaikan oleh PROMETHEE. Keunggulan PROMETHEE adalah ia tidak membutuhkan asumsi bahwa kriteria bersifat proporsional (Mladineo et al., 2016) (F. Yang et al., 2014). Sebuah organisasi yang menghadapi masalah yang kompleks, yang melibatkan pemilihan dengan banyak kriteria yang membutuhkan persepsi dan banyak pertimbangan yang memiliki pengaruh jangka panjang, sangat cocok menggunakan PROMETHEE sebagai bantuan untuk menyelesaikan permasalahan.

PROMETHEE dapat diaplikasikan pada situasi keputusan seperti (Tony et al., 2011):

- Choice – seleksi dari satu alternatif dari kumpulan, yang terkadang MCDM dilibatkan
- Prioritization – menentukan nilai relatif dari anggota kumpulan alternatif
- Resource allocation – melakukan alokasi sumber daya pada kumpulan alternatif

- Ranking – membentuk kumpulan alternatif dari yang terbaik dan terburuk
- Conflict resolution – menyelesaikan konflik antara pihak yang berbeda tujuan

3.3. Multi Criteria Decision Making

Metode – metode yang terdapat pada Multi Criteria Decision Making memiliki perbedaan dalam hal penerapannya. Penerapan dari tiap metode dari Multi Criteria Decision Making akan dijabarkan sesuai metodenya.

3.4. Analytic Hierarchy Process (AHP)

Pengambilan keputusan kelompok merupakan penerapan khusus dari AHP. Berbagai macam bidang yang dapat digunakan oleh AHP antara lain bisnis, industri, edukasi, institusi pemerintah, informatika, dan kesehatan. Dalam penerapan MCDM pada pemerintahan, AHP mampu memberikan bantuan pada penyeleksian dan menerapkan prioritas di pelayanan publik (e-Government)(Georgiadou et al., 2013; Sánchez-Lozano & Fernández-Martínez, 2016; Enzymes, 1973).

AHP dapat digunakan untuk melakukan pemilihan keputusan dalam permodelan energi serta penetapan kebijakan perusahaan di sektor industri(Delgado & Sendra, 2004; Zopounidis & Doumpos, 2002)(Defechereux et al., 2012). AHP juga diterapkan di bidang ekologi, yakni manajemen dan perencanaan hutan, serta proyek yang berorientasi pada lingkungan(Morris, n.d.). Kesehatan menerapkan metode ini dalam onkologi (studi dan perawatan tumor), dan perawatan kesehatan yang berpusat pada pasien. Di bidang informatika, metode AHP diterapkan pada manajemen layanan IT (untuk menilai performanya), cloud computing untuk menilai relevansi layanan yang dibutuhkan user, menemukan suatu alternatif dari suatu permasalahan di rekayasa perangkat lunak, penentuan opsi dalam pemilihan perangkat lunak pengolah citra, penilaian kualitas situs web, hingga pemilihan notebook.

3.5. Fuzzy Multi-Criteria Decision Making

Metode ini digagas oleh Lotfi A. Zadeh (1965), sehingga metode ini telah dipercaya sebagai metode yang efektif selama beberapa dekade. Wilayah yang dicakup oleh metode ini tergolong luas, contohnya mulai dari kendali proses, klasifikasi dan pencocokan pola, manajemen pengambilan keputusan, serta ekonomi (Nurhayati, 2009). Oleh karena jangkauan dari metode Fuzzy MCDM luas, penerapan dari metode ini juga sangat luas bergantung pada permasalahan, namun menurut hasil survei yang dilakukan dan berdasarkan jurnal-jurnal yang dikumpulkan, metode ini paling sering digunakan pada bidang manajemen dan pengambilan keputusan, serta klasifikasi(Lakshmana Gomathi Nayagam et al., 2011; Delfs & Knebl, 2001).

3.6. Technique for Order Preference by Similiarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Metode ini digagas oleh Chen dan Hwang (1992) yang menggunakan rujukan dari Hwang dan Yoon (1981), dimana metode ini menggunakan pendekatan dua alternatif solusi (Adunlin et al., 2015). Solusi yang memiliki tingkat kemungkinan paling dekat dengan hasil yang dirasa paling cocok, dan solusi yang tingkat kemungkinan paling jauh dengan hasil yang dirasa paling tidak cocok (Singh & Singh, 2018). Karena kelebihanannya (langkah tidak akan bertambah berapapun jumlah kriteria yang digunakan) metode ini cocok untuk digunakan pada pengambilan keputusan serta penilaian risiko dari suatu masalah (Opricovic & Tzeng, 2004).

3.7. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

Salah satu metode yang menggunakan metode outranking adalah PROMETHEE. Metode ini dapat digunakan untuk melakukan pemilihan opsi dalam permasalahan yang kompleks. PROMETHEE mampu untuk mengenali tingkat pemakaian energi (Rizkani & Ciptomulyono, 2012). Rumah Sakit Haji Surabaya melakukan audit energi berdasarkan hal tersebut, sehingga energi dapat digunakan secara efisien dan hemat (Rizkani & Ciptomulyono, 2012). PROMETHEE juga dapat diterapkan di bidang cloud computing. Dalam cloud computing, pengguna membutuhkan layanan yang paling relevan dan salah satu metode yang digunakan untuk menyeleksi opsi dan analisis

kriteria adalah PROMETHEE (Grgurević, 2017; Madani & Lund, 2011). Pendekatan metode PROMETHEE mampu menilai kualitas situs web berdasarkan penerapan Systematic Literature Review (SLR) (Rekik et al., 2016; FAZIL et al., 2008).

4. KESIMPULAN

Pada paper ini menggunakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam pengambilan keputusan. Metode yang digunakan penulis dalam melakukan penelitian ini yaitu Multi-Criteria Decision Making (MCDM). Dalam metode ini ada beberapa pendekatan yaitu AHP, Fuzzy MCDM, TOPSIS, PROMETHEE. Dari setiap pendekatan metode MCDM memiliki pengertian yang berbeda sehingga pembaca diharapkan bisa memahami pengertian dari setiap pendekatan metode MCDM yang dibahas di penelitian ini. Selain itu dari ke empat pendekatan ini juga mempunyai kegunaan dan penerapan di banyak bidang, dalam penelitian ini metode fuzzy MCDM yang paling banyak digunakan dalam berbagai bidang. Sedangkan metode AHP, dan TOPSIS kebanyakan menjadi metode yang digabungkan dengan metode Fuzzy MCDM. Sedangkan metode PROMETHEE umumnya digunakan dalam bidang informatika.

Daftar Rujukan

- Adunlin, G., Diaby, V., Montero, A. J., & Xiao, H. (2015). Multicriteria decision analysis in oncology. *Health Expectations*, 18(6), 1812–1826. <https://doi.org/10.1111/hex.12178>
- Ananda, J., & Herath, G. (2009). A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological Economics*, 68(10), 2535–2548. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.010>
- Artana, K. B. (2008). Pengambilan Keputusan Kriteria Jamak (Mcdm) Untuk Pemilihan Lokasi Floating Storage and Regasification Unit (Fsr): Studi Kasus Suplai Lng Dari Ladang Tangguh Ke Bali. *Jurnal Teknik Industri*, 10(2), 97–111.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S., & Goyal, S. K. (2011). A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(1–2), 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.07.023>
- Bonissone, P. P. (2008). Research Issues in multi criteria decision making (MCDM): The impact of uncertainty in solution evaluation. *Impu, Mcdm*, 1409–1416.
- Boufateh, I., Perwuelz, A., Rabenasolo, B., Jolly, A., Boufateh, I., Perwuelz, A., Rabenasolo, B., Multiple, A. J., & Decision, C. (2012). Multiple Criteria Decision Making for environmental impacts optimization To cite this version : Anne-Marie Jolly-Desodt.
- Boutkhoul, O., & Background, M. H. (n.d.). An integrated decision-making prototype based on OLAP systems and multicriteria analysis for complex decision-making problems. In *Applied Informatics*. <https://doi.org/10.1186/s40535-017-0041-6>
- Bouyssou, D. (2001). Outranking Methods. *Encyclopedia of Optimization*, 4, 249–255. <https://doi.org/10.1007/s003550050056>
- Büyükoçkan, G., & Güleriyüz, S. (2016). Fuzzy Multi Criteria Decision Making Approach for Evaluating Sustainable Energy Technology Alternatives. 1, 1–6.
- Chang, T. H., & Wang, T. C. (2009). Using the fuzzy multi-criteria decision making approach for measuring the possibility of successful knowledge management. *Information Sciences*, 179(4), 355–370. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.10.012>
- Chen, P.-C. (2009). A Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Model in Employee Recruitment. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 9(7), 113–117.
- Dalalah, D., Hayajneh, M., & Batiha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8384–8391. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.031>
- De Brito, M. M., & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019–1033. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1019-2016>
- Defechereux, T., Paolucci, F., Mirelman, A., Youngkong, S., Botten, G., & Hagen, T. P. (2012). Health care priority setting in Norway a multicriteria decision analysis. *BMC Health Services Research*, 12, 39. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-39>
- Delfs, H., & Knebl, H. (2001). *Information Security and Cryptography: Principles and Applications*.
- Delgado, M. G., & Sendra, J. B. (2004). Sensitivity analysis in multicriteria spatial decision-making: A review. *Human and Ecological Risk Assessment*, 10(6), 1173–1187. <https://doi.org/10.1080/10807030490887221>
- Dowie, J., Kjer Kaltoft, M., Salkeld, G., & Cunich, M. (2015). Towards generic online multicriteria decision support in patient-centred health care. *Health Expectations*, 18(5), 689–702. <https://doi.org/10.1111/hex.12111>
- Elanchezhian, C., Ramnath, B. V., & Kesavan, R. (2010). Vendor Evaluation Using Multi Criteria Decision Making Technique. *International Journal of Computer Applications*, 5(9), 4–9. <https://doi.org/10.5120/943-1321>
- Enzymes, P. (1973). United States Patent (19) 54. 19.

- Erdogan, M., & Kaya, I. (2015). An integrated multi-criteria decision-making methodology based on type-2 fuzzy sets for selection among energy alternatives in turkey. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12(1), 1–25. <https://doi.org/10.22111/IJFS.2015.1839>
- Fadlalla, R., Elsheikh, A., Ouerghi, S., & Elhag, A. R. (2015). Flood Risk Map Based on GIS , and Multi Criteria Techniques (Case Study Terengganu Malaysia). *Journal of Geographic Information System*, August, 348–357. <https://doi.org/10.4236/jgis.2015.74027>
- Fazil, A. M., Raji, A., Sanchez, J., & McEwen, S. A. (2008). Choices, choices: the application of multi-criteria decision analysis to a food safety decision-making problem. *Journal of Food Protection*, 71(11), 2323–2333. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.11.2323>
- Garau, M., Hampson, G., Devlin, N., Mazzanti, N. A., & Profico, A. (2017). Applying a Multicriteria Decision Analysis (MCDA) Approach to Elicit Stakeholders' Preferences in Italy: The Case of Obinutuzumab for Rituximab-Refractory Indolent Non-Hodgkin Lymphoma (iNHL). *PharmacoEconomics - Open*. <https://doi.org/10.1007/s41669-017-0048-x>
- Georgiadou, A., Kokkinakos, P., Panopoulos, D., Koussouris, S., & Askounis, D. (2013). A multicriteria methodology for the selection and prioritisation of public services. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 399, 325–337. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37437-1_27
- Grgurević, I. (2017). Multi-criteria Decision-making in Cloud Service Selection and Adoption. 8–12.
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3578–3594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022>
- Jiang, H., & Eastman, J. R. (2010). International Journal of Geographical Information Science Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. September 2012, 37–41. <https://doi.org/10.1080/136588100240903>
- Kahar, N., & Fitri, N. (2011). Aplikasi Metode Fuzzy Multi Criteria Decision Making (Fmcdm) Untuk Optimalisasi Penentuan Lokasi Promosi Produk. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi SNATI, 2011(Snati), A-58-A-63.
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. In *Logistics Information Management* (Vol. 16, Issue 6, pp. 382–394). <https://doi.org/10.1108/09576050310503367>
- Kusumadewi, S., Guswaludin, I., Sistem, K., Keputusan, P., & Support, D. (2005). Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. *Media Informatika*, 3(1), 25–38.
- Lakshmana Gomathi Nayagam, V., Muralikrishnan, S., & Sivaraman, G. (2011). Multi-criteria decision-making method based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1464–1467. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.055>
- Lee, C. W., & Kwak, N. K. (2011). Strategic enterprise resource planning in a health-care system using a multicriteria decision-making model. *Journal of Medical Systems*, 35(2), 265–275. <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9362-x>
- Liang, G. (1993). A fuzzy multi-criteria decision-making approach for robot selection. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 10(4), 267–274. [https://doi.org/10.1016/0736-5845\(93\)90040-Q](https://doi.org/10.1016/0736-5845(93)90040-Q)
- Linder, S., & Sexton, K. (2014). A Pathway to Linking Risk and Sustainability Assessments. *Toxics*, 2(4), 533–550. <https://doi.org/10.3390/toxics2040533>
- Lyu, Y., Chow, C.-Y., Wang, R., & Lee, V. C. S. (2014). Using multi-criteria decision making for personalized point-of-interest recommendations. *Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems - SIGSPATIAL '14*, Mcdm, 461–464. <https://doi.org/10.1145/2666310.2666479>
- Madani, K., & Lund, J. R. (2011). A Monte-Carlo game theoretic approach for Multi-Criteria Decision Making under uncertainty. *Advances in Water Resources*, 34(5), 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2011.02.009>
- Massam, H. (1988). Multi-criteria (MCDM) Decision Making Techniques in Planning. *Progress in Planning*, 30, 1–84.
- Mladineo, M., Jajac, N., & Rogulj, K. (2016). A simplified approach to the PROMETHEE method for priority setting in management of mine action projects. *Croatian Operational Research Review*, 7(2), 249–268. <https://doi.org/10.17535/crorr.2016.0017>
- Mutlu, M., Tuzkaya, G., & Lu, B. S. Ğ. (2017). Review Article multi-criteria decision making techniques for healthcare service quality evaluation : a literature review. 35(3), 501–512.
- Nurhayati, O. D. (2009). Penerapan Metode Segmentasi Pada Analisis Citra Digital Head Ct Scan. 53–61.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Paper, R. (2016). Application of multi criteria decision making to urban planning - a review. 8147, 46–53.
- Pramudhita, A. N., Suyono, H., & Yudaningtyas, E. (2015). Penggunaan Algoritma Multi Criteria Decision Making dengan Metode Topsis dalam Penempatan Karyawan. 9(1), 91–94.
- Rekik, R., Kallel, I., Casillas, J., & Alimi, A. M. (2016). Using Multiple Criteria Decision Making Approaches to Assess the Quality of Web Sites. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 14(7), 747.
- Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazarevic, D. (2014). GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Engineering*, 69, 1054–1063. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.090>

- Rizkani, T., & Ciptomulyono, U. (2012). Audit Energi dengan Pendekatan Metode MCDM-PROMETHEE untuk Konservasi. *Jurnal Teknik ITS*, 1(September), 465–470.
- Rosnelly, R., & Wardoyo, R. (2011). Penerapan Fuzzy Multi Criteria Decision Making (Fmcdm) Untuk Diagnosis Penyakit Tropis. *Seminar Nasional Informatika (SemnasIF 2011)*, 2011(semnasIF), D-21-D-26.
- Salim, Y. (2015). Penerapan Fuzzy Multi Criteria Decision Making Untuk Menentukan Pemberian Beasiswa. 6–8.
- Sánchez-Lozano, J. M., & Fernández-Martínez, M. (2016). Near-Earth object hazardous impact: A Multi-Criteria Decision Making approach. *Scientific Reports*, 6(November), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep37055>
- Schinas, O. (2004). Examining the use and application of multi-criteria decision making techniques in safety assessment. ... the International Symposium on Maritime Safety, ..., 1–9.
- Sehra, Sumeet Kaur Brar, Yadwinder Singh Kaur, N. (2016). Applications of Multi-criteria Decision Making in Software Engineering. 7(7).
- Sehra, S. K., Brar, Y. S., & Kaur, N. (2012). Multi Criteria Decision Making Approach for Selecting Effort Estimation Model. *International Journal of Computer Applications*, 39(1), 10–17.
- Singh, S. P., & Singh, P. (2018). A hybrid decision support model using axiomatic fuzzy set theory in AHP and TOPSIS for multicriteria route selection. *Complex & Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1007/s40747-018-0067-y>
- Stanujkić, D., Đorđević, B., & Đorđević, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian Journal of Management*, 8(2), 213–241. <https://doi.org/10.5937/sjm8-3774>
- Suharyo, O. S., Manfaat, D., Armono, H., Tinggi, S., Angkatan, T., Indonesia, L., Kelautan, F. T., Teknologi, I., Nopember, S., Angkatan, P., Armada, K., & Base, N. (2015). Aplikasi Fuzzy Multi Criteria Decision Making (Fmcdm) Dalam Pemodelan Penentuan Lokasi Pengembangan Pangkalan Angkatan Laut. 465–480.
- Thokala, P., Devlin, N., Marsh, K., Baltussen, R., Boysen, M., Kalo, Z., Longrenn, T., Mussen, F., Peacock, S., Watkins, J., & Ijzerman, M. (2016). Multiple criteria decision analysis for health care decision making - An introduction: Report 1 of the ISPOR MCDA Emerging Good Practices Task Force. *Value in Health*, 19(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2015.12.003>
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Tony, M., Wagner, M., Khoury, H., Rindress, D., Papastavros, T., Oh, P., & Goetghebeur, M. M. (2011). Bridging health technology assessment (HTA) with multicriteria decision analyses (MCDA): Field testing of the EVIDEM framework for coverage decisions by a public payer in Canada. *BMC Health Services Research*, 11, 1–13. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-11-329>
- Trdin, N., & Bohanec, M. (2014). New Generation Platform for Multi- Criteria Decision Making with Method. 1.
- Triantaphyllou, E., & Shu, B. (1998). Multi-criteria decision making: an operations research approach. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 15, 175–186.
- Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56–66. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12586-2>
- Wang, J., Wang, J. Q., Tian, Z. P., & Zhao, D. Y. (2018). A multihesitant fuzzy linguistic multicriteria decision-making approach for logistics outsourcing with incomplete weight information. *International Transactions in Operational Research*, 25(3), 831–856. <https://doi.org/10.1111/itor.12448>
- Wang, Y. M., & Elhag, T. M. S. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 31(2), 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.09.040>
- Yamami, A. El, Mansouri, K., Qbadou, M., & Illousamen, E. (2017). Multi-criteria Decision Making Approach for ITIL Processes Performance Evaluation: Application to a Moroccan SME.
- Yang, F., Zhao, F., Liang, L., & Huang, Z. (2014). SMAA-AD Model in Multicriteria Decision-Making Problems with Stochastic Values and Uncertain Weights. *Annals of Data Science*, 1(1), 95–108. <https://doi.org/10.1007/s40745-014-0007-7>
- Yang, J. S., Chung, E. S., Kim, S. U., & Kim, T. W. (2012). Prioritization of water management under climate change and urbanization using multi-criteria decision making methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(3), 801–814. <https://doi.org/10.5194/hess-16-801-2012>
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: Methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(4–5), 167–186. <https://doi.org/10.1002/mcda.333>.