

KEUNGGULAN PENERAPAN FUZZY PADA PENYELESAIAN PENJADWALAN PROYEK

Sapti Wahyuningsih^{1,*}, Aprilia Hamida Mashuri¹

¹Jurusan Matematika, Universitas Negeri Malang

Email : sapti.wahyuningsih.fmipa@um.ac.id (S. Wahyuningsih), aprilia_hm@gmail.com (A. H. Mashuri)

* Corresponding Author

Abstract

Project scheduling is an activity to determine the duration of each activity on the project so that the project can be completed in an optimal time. Network flow in the application of graph theory is the theoretical basis used to complete the project schedule. Some methods that can be used to complete scheduling are Gantt, CPM (Critical Path Method), PERT method (Project Evaluation and Review Technique), and fuzzy application. This article will examine the advantages of applying fuzzy after project scheduling. In the PERT and CPM methods, there are forward computation, backward computation, and float or slack calculations, while scheduling using fuzzy calculations is carried out in one step, namely, the calculation starts from the 'start' node and move to the 'end'. In the application of fuzzy, the degree of membership is discussed to model uncertainty so that the value of the probability of reaching the target is represented in the form of a curve so that the tolerance for project completion can be determined if something unplanned occurs, such as changes in weather/rain or other constraints. The final result of the analysis of fuzzy calculations can be obtained as the most likely value, namely the value with the degree of membership equal to 1 to be the solution in the search for the fastest completion time of a project.

Keywords: Network flow, scheduling, fuzzy, PERT, CPM

Submitted: 12 October 2020; Revised: 11 November 2020; Accepted Publication: 20 December 2020;

Published Online: January 2021

DOI: 10.17977/um055v2i1p24-31

PENDAHULUAN

Salah satu kajian teori *graph* yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah penjadwalan (*scheduling*) yang menggunakan analisa *network*. Permasalahan penjadwalan dapat diterapkan pada suatu proyek misalnya menentukan jadwal proyek atau waktu selesainya suatu proyek yang dikerjakan sehingga dalam penggunaan waktunya dapat diatur secara efektif.

Beberapa metode untuk menyelesaikan penjadwalan misalnya *Gant chart*, *Critical Path Method* (CPM), *Program Evaluation Review Technique* (PERT). Masing - masing metode mempunyai asumsi berbeda terhadap karakteristik durasi aktifitasnya. Metode *gant chart* dan CPM mengasumsikan durasi aktifitas bersifat pasti dan memakai satu angka estimasi. Sedangkan PERT tidak pasti dan menggunakan tiga angka estimasi.

Cara lain yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ketidakpastian adalah dengan menggunakan teori *fuzzy*. Beberapa penelitian tentang teori *fuzzy* dan aplikasinya dapat dilihat pada (Kviesis et al., 2020), (Sur & Kim, 2020), (Kharb & Singhrova, 2019), (Dovžan & Škrjanc, 2011), (Maatouk et al., 2016), (Huang et al., 2020), (Demenev et al., 2018), (Egrioglu et al., 2020) dan (Elouedi & Ben Amor, 2019).

Pembahasan *fuzzy* dapat diterapkan untuk penjadwalan proyek misalnya dikaitkan dengan *job shop*. Penelitian terdahulu yang membahas *fuzzy* pada *job shop* misalnya (Abdullah & Abdolrazzagh-Nezhad, 2014), (Lin, 2019), dan (Vela et al., 2020). Juga beberapa penelitian masalah *fuzzy* pada penjadwalan dapat dilihat pada (Sur & Kim, 2020), (Masmoudi & Haït, 2013), (Knyazeva et al., 2015), (Shukla et al., 2020), (Cheng et al., 2019), (Birjandi & Mousavi, 2019) Zhou et al., 2019), (Nemati-Lafmejani et al., 2019) dan (Mansouri et al., 2019).

Pada artikel ini akan dikaji keunggulan penerapan *fuzzy* pada penjadwalan proyek. Bagaimana penerapan *fuzzy* untuk memodelkan ketidakpastian, dan bagaimana kajian toleransi penyelesaian proyek jika menggunakan *fuzzy* untuk sesuatu yang tidak dapat direncanakan misalnya perubahan cuaca/hujan atau kendala lain.

METODE

Langkah-langkah yang diperlukan untuk mengkaji keunggulan penggunaan *fuzzy* pada penjadwalan proyek adalah sebagai berikut.

- Menkaji penjadwalan dengan metode PERT
- Menkaji penjadwalan dengan metode CPM
- Kajian konsep – konsep yang ada pada teori himpunan *fuzzy*
- Pemodelan *fuzzy* untuk penjadwalan proyek
- Mengkaji keunggulan penerapan *fuzzy* pada penyelesaian penjadwalan proyek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa penjadwalan menggunakan teori himpunan *fuzzy* pada dasarnya sama dengan PERT dan CPM, seperti tahap pengelompokan proyek, pengorganisasian dan selanjutnya dibuat diagram network baik dengan model AON (*Activity On Node*) ataupun model AOA (*Activity On Arrow*). Namun yang berbeda di sini adalah tentang sistem perhitungan waktu selesai proyek. Analisis perhitungannya menggunakan konsep – konsep yang ada pada teori himpunan *fuzzy*. Selain itu teori himpunan *fuzzy* lebih menekankan kepada pertimbangan logis dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi estimasi durasi kegiatan seperti cuaca (alam) dan sumber daya manusia. Dalam perhitungan waktu, teori himpunan *fuzzy* memperhitungkan semua jalur dalam menentukan waktu penyelesaian proyek dan mengasumsikan bahwa semua jalur mempunyai kontribusi yang sama terhadap total durasi. Sehingga dalam analisa perhitungannya tidak dicari lintasan kritis seperti yang ada pada PERT dan CPM.

Perhitungan penentuan waktu pada masalah penjadwalan dilakukan setelah diagram *network* digambarkan. Pada metode PERT dan CPM ada beberapa tahapan perhitungan untuk menganalisa penjadwalan, yaitu perhitungan maju (*forward computation*), perhitungan mundur (*backward computation*), dan perhitungan waktu longgar (*float or slack*).

Permasalahan penjadwalan menggunakan teori himpunan *fuzzy*, cara perhitungan dilakukan dengan satu kali tahapan, yaitu perhitungan dimulai dari node ‘start’ dan bergerak ke ‘end’. Rumus perhitungan waktu tercepatnya sama dengan perhitungan maju pada metode PERT dan CPM. Yang membedakan penggunaan *fuzzy* adalah operasi penghitungannya merupakan operasi aljabar bilangan *fuzzy*.

Seperti halnya perhitungan maju pada metode PERT dan CPM maka secara umum perhitungan waktu selesai paling cepat didefinisikan sebagai berikut:

$$E_j = E_i + D_{ij}$$

untuk semua aktifitas yang didefinisikan (i,j) dimana :

- E_i : *early start node* i (dalam bilangan *fuzzy*)
- E_j : *early start node* j (dalam bilangan *fuzzy*)
- D_{ij} : durasi aktifitas i-j (dalam bilangan *fuzzy* segitiga)

Terdapat beberapa hal yang berkaitan dengan logika ketergantungan kegiatan-kegiatan pada diagram *network* yang perlu diperhatikan dengan proses penghitungan waktu berdasarkan konsep – konsep himpunan *fuzzy*. Hal – hal yang harus diperhatikan adalah

1. Peristiwa 1 menandai dimulainya proyek. Di sini berlaku pengertian bahwa waktu paling awal peristiwa terjadi $E(1) = 0$. Dengan menggunakan bilangan *fuzzy*, $E(1) = (0,0,0)$
2. Pada hubungan seri yaitu hanya ada satu aktivitas *predecessor*, perhitungan E_i bisa dilakukan dengan penjumlahan antara dua bilangan *fuzzy*. Penjumlahan bilangan *fuzzy* dapat dilakukan dengan penjumlahan langsung atau menggunakan α - predikat seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya.
3. Apabila jumlah aktivitas *predecessor* lebih dari satu (konvergen) maka ada beberapa bilangan *fuzzy* yang harus dibandingkan untuk menentukan bilangan yang paling maksimum. Untuk mengatasi masalah ini, akan digunakan salah satu operator dasar Zadeh, yaitu operator OR atau *fuzzymax*. Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya *fuzzymax* didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_{A \cup B} = \max\{\mu_A[x], \mu_B[y]\}$$

Dengan menggunakan persamaan *fuzzymax* di atas, maka

$$\begin{aligned} E_j &= \max \{E_i + D_{ij}\} \\ &= \max \{ \mu_{E_i + D_{ij}}[x] \} \end{aligned}$$

dimana

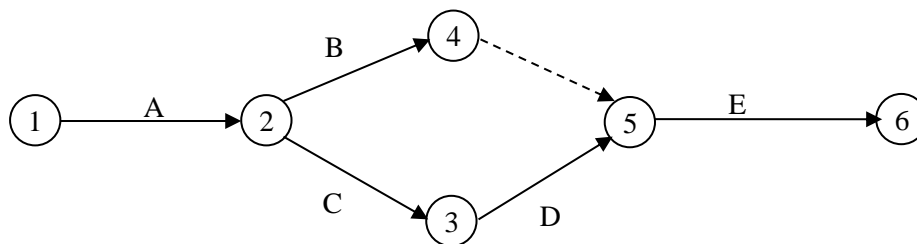
$$\mu_{E_i + D_{ij}}[x] = \text{fungsi derajat keanggotaan } E_i + D_{ij}$$

Hasil akhir perhitungan berupa bilangan *fuzzy* sehingga waktu tercepat diperoleh dari nilai yang paling mungkin yaitu anggota himpunan *fuzzy* yang mempunyai nilai keanggotaan sama dengan 1. Untuk mengetahui derajat keanggotaan suatu himpunan *fuzzy* adalah dengan memasukkan atau substitusi nilai yang dicari ke fungsi keanggotaan.

Contoh perencanaan kegiatan yang akan di analisa penjadwalannya menggunakan konsep – konsep himpunan *fuzzy* dan PERT dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Contoh Proyek Sederhana

No	Kegiatan	i	j	Durasi			Predesesor
				a	m	b	
1	A	1	2	2	3	4	-
2	B	2	4	6	9	11	A
3	C	2	3	2	5	6	A
4	D	3	5	2	3	6	C
5	E	5	6	4	6	8	B, D



Gambar1. Contoh Network

Dengan menggunakan konsep *fuzzymax* maka

$$E_5 = \max \{ (\mu_{E_3 + D_{3,5}}[x]), (\mu_{E_4 + D_{4,5}}[x]) \}$$

$E_3 + D_{3,5} = (6, 11, 16)$ merupakan bilangan *fuzzy* segitiga maka derajat keanggotaannya adalah

$$\mu_{E_3 + D_{3,5}} [x] = \begin{cases} 0, & x \geq 16 \\ \frac{x-6}{5}, & 6 < x \leq 11 \\ \frac{16-x}{5}, & 11 < x \leq 16 \\ 0, & x < 6 \end{cases}$$

$$\text{Misal } \alpha = \begin{cases} \frac{x-6}{5}, & 6 < x \leq 11 \\ \frac{16-x}{5}, & 11 < x \leq 16 \end{cases}$$

α – predikatnya adalah

$$E_3 + D_{3,5} \alpha = \begin{cases} x_1 = 5\alpha + 6 \\ x_2 = 16 - 5\alpha \end{cases}, \alpha = [0, 1]$$

$E_4 + D_{4,5} = (8, 12, 15)$ merupakan bilangan *fuzzy* segitiga maka derajat keanggotaannya adalah

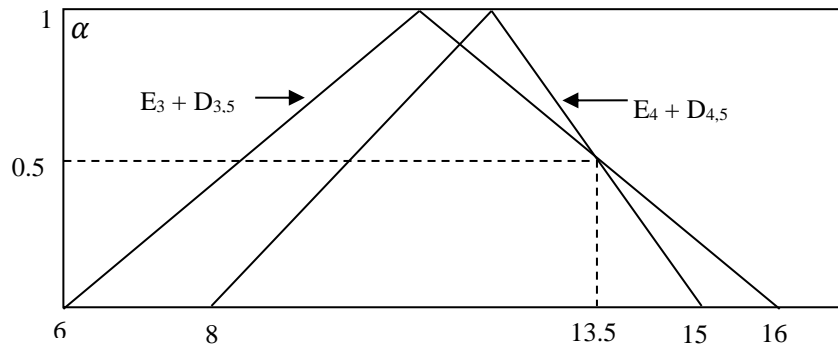
$$\mu_{E_4 + D_{4,5}} [x] = \begin{cases} 0, & y \geq 15 \\ \frac{y-8}{4}, & 8 < y \leq 12 \\ \frac{15-y}{3}, & 12 < y \leq 15 \\ 0, & y < 8 \end{cases}$$

$$\text{Misal } \alpha = \begin{cases} \frac{y-8}{4}, & 8 < y \leq 12 \\ \frac{15-y}{3}, & 12 < y \leq 15 \end{cases}$$

α – predikatnya adalah

$$E_5 + D_{5,6} \alpha = \begin{cases} y_1 = 4\alpha + 8 \\ y_2 = 15 - 3\alpha \end{cases}, \alpha = [0, 1]$$

$(E_3 + D_{3,5})$ dan $(E_4 + D_{4,5})$ secara grafis dipresentasikan dalam Gambar 2



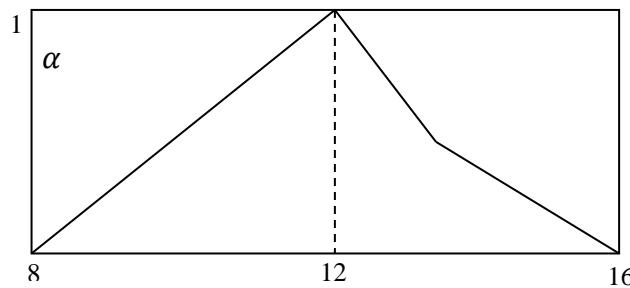
Gambar 2 $\mu (E_3 + D_{3,5})$ dan $\mu (E_4 + D_{4,5})$

Perhatikan Gambar 2. terlihat perpotongan antara x_2 dan y_2 pada saat $\alpha = 0.5$. Sehingga dengan menggunakan *fuzzymax* nilai E_6 dapat diperoleh dengan membandingkan nilai x_2 dan y_2 yang paling maksimal pada saat $0 \leq \alpha \leq 0.5$ dan $0.5 \leq \alpha \leq 1$.

Fungsi keanggotaan E_5 adalah

$$E_5 = \begin{cases} 0, & x \leq 8 \\ \frac{x-8}{4}, & 8 < x \leq 12 \\ \frac{15-x}{3}, & 12 < x \leq 13.5 \\ \frac{16-x}{5}, & 13.5 < x \leq 16 \\ 0, & x > 16 \end{cases}$$

$E_5 = \max\{(E_3 + D_{3,5}), (E_4 + D_{4,5})\}$ Secara grafis dipresentasikan pada Gambar 3.



Gambar 3 *fuzzymax* E_5

Hasil ini sama dengan menggunakan alat bantu WinQSB seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan dengan WinQSB

03-30-2008 10:27:16	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation
1	A	Yes	3	0	3	0	3	0	3-Time estimate	0.3333
2	B	Yes	8.8333	3	11.8333	3	11.8333	0	3-Time estimate	0.8333
3	C	no	4.6667	3	7.6667	3.8333	8.5	0.8333	3-Time estimate	0.6667
4	D	no	3.3333	7.6667	11	8.5	11.8333	0.8333	3-Time estimate	0.6667
5	E	Yes	6	11.8333	17.8333	11.8333	17.8333	0	3-Time estimate	0.6667
	Project Completion Time		=	17.83	days					
	Number of Critical Path(s)		=	1						

Dari hasil perhitungan menggunakan PERT yaitu pada nilai waktu yang diharapkan (TE) diperoleh total durasi proyek yang lebih cepat dari pada menggunakan teori himpunan *fuzzy*. Hal ini karena perhitungan menggunakan teori himpunan *fuzzy* tidak berdasarkan lintasan kritis seperti pada PERT. Namun pada PERT nilai te setelah dimasukkan faktor varians diperoleh hasil waktu yang berupa interval atau tidak pasti.

Pada penyelenggaraan proyek sering dijumpai adanya target jadwal atau tanggal penyelesaian yang telah ditentukan. Oleh karena itu, langkah selanjutnya adalah menghitung kemungkinan/kepastian mencapai target

jadwal tersebut. Hubungan antara waktu yang diharapkan (TE) dengan target T(d) pada metode PERT dinyatakan dengan z dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Deviasi } z = \frac{T(d) - TE}{s}$$

Jika pimpinan proyek menargetkan waktu selesainya proyek tersebut adalah 20 hari maka akan dihitung deviasi z

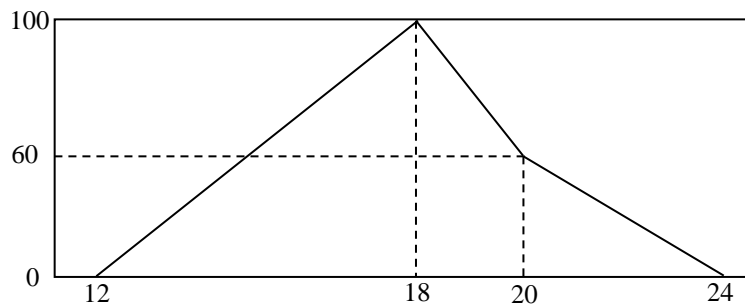
$$z = \frac{20 - 17.83}{1.12} = 1.9375$$

dengan menggunakan angka $z = 1.9375$ dan melihat tabel distribusi normal diperoleh angka probabilitas sebesar 0.973. Hal ini berarti kemungkinan proyek selesai pada target 20 hari adalah sebesar 97,3 %. Dengan kata lain jika kegiatan proyek tersebut dikerjakan berulang-ulang misalnya diulang 100 kali maka proyek selesai tepat dalam waktu 20 hari terjadi 97 kali.

Dengan menggunakan teori himpunan *fuzzy* juga dapat dihitung nilai kemungkinan/kepastian mencapai target jadwal yaitu dengan menggunakan fungsi derajat keanggotaan. Jika target jadwal adalah 20 hari maka perhitungan dengan fungsi derajat keanggotaan E_6 adalah:

$$\mu_{E_6}(20) = \frac{23 - 20}{5} = 0.6$$

Dari perhitungan di atas diperoleh derajat keanggotaan 20 untuk E_6 adalah 0.6 dimana menurut teori himpunan *fuzzy* angka ini tidak absolut menjadi anggota E_6 . Jadi dengan kata lain kemungkinan mencapai target tepat 20 hari adalah 0.6 atau 60%. Secara grafis derajat keanggotaan 20 direpresentasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Peristiwa Selesainya Proyek 20 hari

Terjadinya perbedaan nilai kemungkinan antara PERT dan *fuzzy* dikarenakan pada PERT menggunakan teori probabilitas yang didasarkan pada sampel acak dengan analisis data statistik. Sedangkan pada himpunan *fuzzy* lebih kepada pertimbangan derajat keanggotaan yang mencerminkan tingkat keanggotaan suatu himpunan *fuzzy* sehingga lebih terbuka.

Hal yang perlu diperhatikan dalam *schedulling* kegiatan pada proyek ini mengacu pada pemakaian tiga angka estimasi, yaitu a, m dan b yang mempunyai arti sebagai berikut :

- a = kurun waktu optimistik (*optimistic duration time*) yaitu waktu tersingkat untuk menyelesaikan kegiatan,
- m = kurun waktu paling mungkin (*most likely time*) yaitu waktu yang paling sering terjadi dibanding dengan yang lain bila kegiatan dilakukan berulang dengan kondisi yang hampir sama,
- b = kurun waktu pesimistik (*pessimistic duration time*) waktu yang paling lama untuk menyelesaikan kegiatan.

Setiap kegiatan dapat direpresentasikan sebagai kurva segitiga sehingga fungsi keanggotaannya didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x > b \\ \frac{x - a}{m - a}, & a \leq x \leq m \\ \frac{b - x}{b - m}, & m \leq x \leq b. \end{cases}$$

Dari hasil penelitian menggunakan metode PERT menghasilkan nilai estimasi sebagai berikut

- Waktu optimis (a) = 157.31 hari
- Waktu Paling mungkin (m) = 200.01 hari
- Waktu Pesimis (b) = 262.93 hari

Hasil di atas dapat juga dilihat dengan menggunakan alat bantu Microsoft Project

Dari hasil perhitungan menggunakan PERT yaitu pada nilai waktu yang diharapkan (t_e) diperoleh total durasi proyek yang lebih cepat dari pada menggunakan teori himpunan *fuzzy*. Hal ini karena perhitungan menggunakan teori himpunan *fuzzy* tidak berdasarkan lintasan kritisnya seperti pada PERT. Namun pada PERT nilai t_e setelah dimasukkan faktor varians diperoleh hasil waktu yang berupa interval atau tidak pasti.

PENUTUP

Keunggulan menggunakan teori himpunan *fuzzy* adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan teori himpunan *fuzzy* estimasi waktu kegiatan bisa lebih dari 3 angka estimasi. Jadi tidak harus menggunakan 3 angka estimasi seperti pada PERT.
2. Teori himpunan *fuzzy* mempunyai derajat keanggotaan untuk memodelkan ketidakpastian sehingga nilai kemungkinan mencapai target dapat langsung terlihat pada representasi kurvanya sehingga lebih terbuka.
3. Dari hasil akhir analisa perhitungan dapat diperoleh satu nilai yang paling mungkin yaitu nilai dengan derajat keanggotaan sama dengan 1 untuk menjadi selesai dalam pencarian waktu selesai paling cepat suatu proyek. Berbeda dengan PERT, dimana hasil akhir setelah dimasukkan faktor varians masih berupa bilangan yang tidak pasti yaitu berupa interval.

Sedangkan kelemahan teori himpunan *fuzzy* dalam analisa masalah penjadwalan yaitu tidak dapat dilihat lintasan kritisnya seperti pada PERT.

ACKNOWLEDGMENTS

Artikel ini merupakan bagian dari hasil penelitian hibah skripsi dana PNPB UM, dengan nomor Kontrak: 4.3.471/UN32.14.1/LT/2020, berjudul: “Penerapan Fuzzy pada Permasalahan Penjadwalan Proyek dengan Pembatasan Sumber daya Pemilihan Rute Terbaik”. Terimakasih penulis ucapkan kepada Universitas Negeri Malang atas support dana penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdullah, S., & Abdolrazzagh-Nezhad, M. (2014). Fuzzy job-shop scheduling problems: A review. *Information Sciences*, 278, 380–407. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.060>
- Birjandi, A., & Mousavi, S. M. (2019a). Automation in Construction Fuzzy resource-constrained project scheduling with multiple routes: A heuristic solution. *Automation in Construction*, 100(October 2018), 84–102. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.029>
- Birjandi, A., & Mousavi, S. M. (2019b). Fuzzy resource-constrained project scheduling with multiple routes: A heuristic solution. *Automation in Construction*, 100, 84–102. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.029>
- Cheng, M.-Y., Wu, Y.-F., Wu, Y.-W., & Ndure, S. (2019). Fuzzy Bayesian schedule risk network for offshore wind turbine installation. *Ocean Engineering*, 188, 106238. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106238>
- Demekov, N. P., Mikrin, E. A., & Mochalov, I. A. (2018). Identification of linear models by fuzzy basis functions. *IFAC-PapersOnLine*, 51(32), 574–579. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.484>
- Dovžan, D., & Škrjanc, I. (2011). Recursive fuzzy c-means clustering for recursive fuzzy identification of time-varying processes. *ISA Transactions*, 50(2), 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2011.01.004>
- Egrioglu, E., Bas, E., Yolcu, U., & Chen, M. Y. (2020). Picture fuzzy time series: Defining, modeling and creating a new forecasting method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 88, 103367. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103367>
- Elouedi, Z., & Ben Amor, N. (2019). Special issue: Selected papers from Fuzzy Logic and Applications (LFA 2016). *Fuzzy Sets and Systems*, 366, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2019.03.006>
- Huang, W., Liu, Y., Zhang, Y., Zhang, R., Xu, M., De Dieu, G. J., Antwi, E., & Shuai, B. (2020). Fault Tree and Fuzzy D-S Evidential Reasoning combined approach: An application in railway dangerous goods transportation system accident analysis. *Information Sciences*, 520, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.12.089>

- Kassandra, T., Suhartono, D., Kassandra, T., & Suhartono, D. (2018). ScienceDirect ScienceDirect Resource-Constrained Project Scheduling Problem using Firefly Resource-Constrained Project Scheduling Problem using Firefly Algorithm Algorithm 3rd International Conference on Computer Science and Computational Intelligence 2018. *Procedia Computer Science*, 135, 534–543. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.206>
- Ke, H., & Liu, B. (2010). Fuzzy project scheduling problem and its hybrid intelligent algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 34(2), 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.04.011>
- Khalilzadeh, M., Shakeri, H., Gholami, H., Amini, L., Khalilzadeh, M., Shakeri, H., Gholami, H., & Amini, L. (2017). ScienceDirect ScienceDirect A Heuristic Algorithm for Project Scheduling with Fuzzy A Heuristic Algorithm Parameters for Project Scheduling with Fuzzy Parameters. *Procedia Computer Science*, 121, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.010>
- Kharb, S., & Singhrova, A. (2019). Fuzzy based priority aware scheduling technique for dense industrial IoT networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 125, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.10.004>
- Knyazeva, M., Bozhenyuk, A., & Rozenberg, I. (2015a). Resource-constrained project scheduling approach under fuzzy conditions. *Procedia - Procedia Computer Science*, 77, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.359>
- Knyazeva, M., Bozhenyuk, A., & Rozenberg, I. (2015b). Resource-constrained Project Scheduling Approach Under Fuzzy Conditions. *Procedia Computer Science*, 77, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.359>
- Kviesis, A., Komasilovs, V., Komasilova, O., & Zacepins, A. (2020). Application of fuzzy logic for honey bee colony state detection based on temperature data. *Biosystems Engineering*, 193, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.010>
- Lin, J. (2019). Backtracking search based hyper-heuristic for the flexible job-shop scheduling problem with fuzzy processing time. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 77, 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.10.008>
- Maatouk, I., Chebbo, N., Jarkass, I., & Chatelet, E. (2016a). Maintenance Optimization using Combined Fuzzy Genetic Algorithm and Local Search. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 757–762. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.865>
- Maatouk, I., Chebbo, N., Jarkass, I., & Chatelet, E. (2016b). ScienceDirect Maintenance Optimization using Combined Fuzzy Genetic Maintenance Optimization using Combined Fuzzy Genetic Maintenance Optimization using Combined Maintenance Optimization Optimization using Combined Fuzzy Genetic Genetic Algorithm and Local Search Fuzzy Algorithm and Local Search Algorithm and Local Search Algorithm and Local Search. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 757–762. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.865>
- Mansouri, N., Mohammad Hasani Zade, B., & Javidi, M. M. (2019). Hybrid task scheduling strategy for cloud computing by modified particle swarm optimization and fuzzy theory. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 597–633. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.006>
- Masmoudi, M., & Hait, A. (2013). Project scheduling under uncertainty using fuzzy modelling and solving techniques. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(1), 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.07.012>
- Nemati-lafmejani, R., Davari-ardakani, H., & Najafzad, H. (2019). Multi-mode resource constrained project scheduling and contractor selection: Mathematical formulation and metaheuristic algorithms. *Applied Soft Computing Journal*, 81, 105533. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105533>
- Nemati-Lafmejani, R., Davari-Ardakani, H., & Najafzad, H. (2019). Multi-mode resource constrained project scheduling and contractor selection: Mathematical formulation and metaheuristic algorithms. *Applied Soft Computing*, 81, 105533. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105533>
- Niaki, S. T. A., Malaki, M., & Ershadi, M. J. (2011). A particle swarm optimization approach on economic and economic-statistical designs of MEWMA control charts. *Scientia Iranica*, 18(6), 1529–1536. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.09.007>

- Shukla, A. K., Nath, R., Muhuri, P. K., & Lohani, Q. M. D. (2020). Energy efficient multi-objective scheduling of tasks with interval type-2 fuzzy timing constraints in an Industry 4.0 ecosystem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103257. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103257>
- Sur, J. M., & Kim, D. J. (2020). Comprehensive risk estimation of maritime accident using fuzzy evaluation method – Focusing on fishing vessel accident in Korean waters. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 36(3), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.12.013>
- Vela, C. R., Afsar, S., Palacios, J. J., González-Rodríguez, I., & Puente, J. (2020). Evolutionary tabu search for flexible due-date satisfaction in fuzzy job shop scheduling. *Computers & Operations Research*, 119, 104931. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104931>