

PENERAPAN METODE MULTI-KRITERIA FUZZY SYSTEM UNTUK MENGUKUR EFEKTIFITAS PADA BLOCKCHAIN PENDIDIKAN

Martika Kesuma¹, Chairani^{2*}

Fakultas Ilmu Komputer Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya¹²

Jl. ZA Pagar Alam No 93, Bandar Lampung 35142

E-mail : martika.2121219001p@mail.darmajaya.ac.id¹, chairani@darmajaya.ac.id²

ABSTRAK

Pendidikan mengalami perubahan yang signifikan akibat perkembangan teknologi, terutama selama pandemi COVID-19 yang memicu peningkatan penggunaan teknologi dalam pembelajaran online. Salah satu inovasi yang menarik perhatian adalah teknologi Blockchain, yang menawarkan alternatif dalam pengelolaan informasi dengan desentralisasi data. Namun, penerapan teknologi Blockchain dalam pendidikan masih terbatas, baik karena kurangnya pemahaman akan manfaatnya maupun karena fokus utama teknologi ini pada bidang keuangan dan kontrak. Meskipun demikian, beberapa lembaga pendidikan telah mulai memanfaatkan aplikasi Blockchain untuk verifikasi dan berbagi sertifikat akademik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemilihan platform terbaik pada teknologi Blockchain dalam pendidikan dengan menggunakan Metode Multi-Kriteria Fuzzy System untuk mengukur efektivitasnya. Langkah-langkah metodologi melibatkan identifikasi dan tinjauan platform Blockchain yang tersedia, serta penggunaan Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis untuk memilih platform yang paling sesuai dalam pendidikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa platform Blockchain Quorum merupakan pilihan terbaik untuk pendidikan, dengan nilai Fuzzy MCDA tertinggi. Pada penggunaan metode Fuzzy MCDA memberikan landasan yang kuat dalam menentukan platform Blockchain terbaik untuk pendidikan. Penelitian ini menyoroti pentingnya eksplorasi teknologi Blockchain dalam meningkatkan efisiensi dan keamanan proses pendidikan, serta menawarkan wawasan yang berharga bagi pemangku kepentingan di bidang pendidikan dan teknologi.

Kata kunci : Blokchain, Fuzzy, MCDA, Pendidikan

ABSTRACTS

Education has undergone significant changes due to technological developments, especially during the COVID-19 pandemic which triggered the increased use of technology in online learning. One innovation that has attracted attention is Blockchain technology, which offers an alternative to information management by decentralizing data. However, the application of Blockchain technology in education is still limited, both due to a lack of understanding of its benefits and because of the technology's primary focus on finance and contracts. Nonetheless, some educational institutions have started utilizing Blockchain applications for verification and sharing of academic certificates. This research aims to select the best platform for Blockchain technology in education using the Multi-Criteria Fuzzy System Method to measure its effectiveness. The methodology steps involved the identification and review of available Blockchain platforms, as well as the use of Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis to select the most suitable platform in education. The results show that the Quorum Blockchain platform is the best choice for education, with the highest Fuzzy MCDA score. The use of Fuzzy MCDA method provides a strong foundation in determining the best Blockchain platform for education. This research highlights the importance of exploring Blockchain technology in improving the efficiency and security of the education process, and offers valuable insights for stakeholders in education and technology.

Keywords : Blockchain, Fuzzy, MCDA, Education

1. PENDAHULUAN

Pendidikan telah banyak mengalami perubahan dari kurikulum yang ada pada satuan pendidikan

serta inovasi lainnya. Zaman yang semakin moderen meningkat pesat dengan segala teknologi yang ada terutama pada dunia pendidikan, pendidikan seketika berubah pada

saat penyakit *COVID 19* menyebar luas dan membuat perubahan yang signifikan dalam dunia pendidikan dengan tetap berjalan dan memanfaatkan teknologi yang ada. [1] salah satunya adalah *Blockchain* yang menjadi bahan pembicaraan pada beberapa kalangan, *Blockchain* adalah teknologi informasi terkini, dan saat ini sudah mulai banyak diterapkan dalam kebutuhan sehari-hari di berbagai bidang terapan. Teknologi ini dikembangkan dalam rangka mendukung era *disruption* informasi yang memberi alternatif solusi dari arsitektur teknologi yang terpusat. Teknologi *Blockchain* direalisasikan dengan konsep desentralisasi informasi dalam pengolahan datanya. Data dalam *Blockchain* disimpan secara permanen dalam *record* data yang akan dikomunikasikan secara *peer-to peer* dalam jaringan internal dan berkolaborasi secara aktif [2]

Dalam dunia Pendidikan seperti contoh dalam pembelajaran *online* banyak keamanan yang di kemukakan Para ahli telah menyuarakan keprihatinan mengenai keamanan data dan privasi dalam *platform* pembelajaran *online* [3]. Setiap pelanggaran keamanan pada sistem tersebut dapat mengakibatkan kompromi informasi berharga seperti materi pengajaran, nilai, data pribadi pengguna atau mengecualikan pengguna yang dituju akses. Penggunaan teknologi digital telah dirasakan manfaatnya pada beberapa tahun terakhir. Hal ini dikarenakan perkembangan teknologi yang semakin hari semakin pesat, sehingga memunculkan banyak inovasi baru dari teknologi yang salah satunya *Blockchain* [4].

Penerapan teknologi *Blockchain* dalam pendidikan masih belum banyak diterapkan, selain karena teknologi ini sering dicontohkan untuk penanganan informasi keuangan, kontrak pekerjaan yang melibatkan sekumpulan transaksi keuangan dan *ecommerce* juga dikarenakan kekurangan pedulian para pemangku kepentingan di dunia pendidikan akan manfaat sosial dan potensi dari teknologi *Blockchain*. *Blockchain* dalam dunia pendidikan masih dalam tahapan dini. Bahkan dalam penelitian [5] disebutkan bahwa penerapan teknologi *Blockchain* dalam pendidikan masih belum banyak diterapkan, selain karena teknologi ini sering dicontohkan untuk penanganan informasi keuangan, kontrak pekerjaan yang melibatkan sekumpulan transaksi keuangan dan *ecommerce* juga dikarenakan kekurangan pedulian para

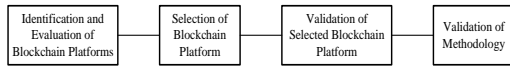
pemangku kepentingan di dunia pendidikan akan manfaat sosial dan potensi dari teknologi *Blockchain*. Namun sedikit demi sedikit penerapan *Blockchain* di sejumlah lembaga pendidikan ini mulai memanfaatkan aplikasi *Blockchain* untuk keperluan verifikasi serta berbagi sertifikat akademik atau pencapaian hasil belajar siswa. Walaupun kapasitas referensi tentang pemakaian aplikasi *blockchain* dalam dunia pendidikan belum terintegrasi secara menyeluruh namun telah bertambah dalam beberapa tahun terakhir, masih terfragmentasi serta tidak terdapat tinjauan sistematis yang belum dicoba pada topik pendidikan [6].

Dalam pemaparan diatas disebutkan pentingnya penerapan *blockchain* dalam pendidikan yang nantinya dapat memudahkan para pelajar dengan semakin berkembangnya teknologi baru salah satunya *blockchain* yang juga dapat memudahkan pelajar terkait proses pembelajaran, pembayaran, kepercayaan siswa, serta sertifikasi sertifikat dan lainnya. Seperti dalam penelitian [7] yang menyebutkan Penggunaan *Blockchain* dalam dunia Pendidikan dapat menguntungkan pelajar, keamanan dan peningkatan efesiensi untuk institusi pendidikan, bisnis, dan pelajar, serta Integrasi kepercayaan dan transparansi. Dengan adanya penelitian ini diharapkan teknologi *Blockchain* dapat diaplikasikan dalam dunia Pendidikan dan untuk menentukan penerapan tersebut akan digunakan Metode Multi-Kriteria *Fuzzy System* Untuk Mengukur Efektifitas Pada *Blockchain* Pendidikan yang dapat meningkatkan keefektifan proses belajar dan mengajar. Penelitian ini dilakukan dengan mengkaji berbagai studi pustaka yang tersedia yang berhubungan dengan *blockchain* pada dunia Pendidikan. Hasil penting dari penelitian ini adalah pemilihan *platform blockchain* dalam bidang pendidikan [8].

2. METODE PENELITIAN

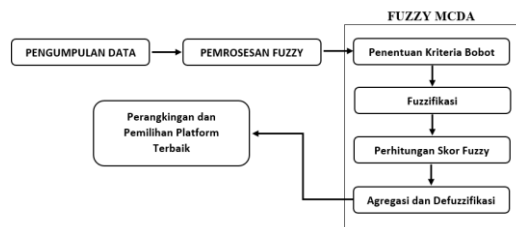
Pada bab ini akan membahas langkah-langkah dari proses penelitian yang akan dilaksanakan, dalam melakukan analisa dan mencari pola rancangan dalam pembuatan penelitian ini untuk memudahkan penelitian dan dapat berjalan dengan sistematis dan memenuhi tujuan yang diinginkan maka dibuat alur penelitian sebagai tahapan dalam penelitian. Studi ini memperkenalkan metodologi untuk memilih

platform blockchain untuk mengembangkan sistem blockchain. Metode penelitian yang diikuti untuk mengembangkan metodologi yang akan diuraikan dalam bagian ini seperti tahapan berikut.



Gambar 1 Alur penelitian Blockchain

Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis adalah metode pendukung atau pengambilan keputusan yang bertujuan untuk menetapkan alternatif peramalan dari sejumlah alternatif berdasarkan beberapa kriteria tertentu yang akan digunakan dalam model untuk mengambil keputusan untuk menentukan peringkat dan memilih platform yang paling sesuai dari platform mana yang paling sering digunakan yaitu Ethereum, Hyperledger Fabric, NEO Qourum dan Stellar. Platform blockchain ini harus dievaluasi menggunakan metode Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) untuk memilih platform blockchain yang paling cocok digunakan untuk mengembangkan sistem sehingga meningkatkan keefektifitasan dalam penerapan blockchain dalam pendidikan.



Gambar 2 Alur Pemrosesan

Dalam pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah tentang pengumpulan platform Blockchain dari berbagai sumber jurnal yang ditemukan terdapat indikator dimana indikator ini nantinya menjadi tolak ukur dari seberapa efektifnya platform blockchain ini jika disesuaikan dalam dunia Pendidikan. Pada fokus kelima platform blockchain yang telah ditentukan terdapat Ethereum, NEO, Stellar, Hyperledger Fabric, dan Quorum. Jika dipertimbangkan dalam beberapa referensi penelitian terdahulu dengan pengolahan yang nanti akan menggunakan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dalam konteks

penerapan platform blockchain dalam Pendidikan terdapat beberapa indikator pada kelima blockchain yang dapat diambil yaitu (keamanan, kinerja, skalabilitas, biaya, komunitas dan dukungan).

Identifikasi kriteria-kriteria yang di pertimbangkan (seperti keamanan, kinerja, skalabilitas, biaya, komunitas, dan dukungan) pemberian bobot pada masing-masing kriteria sesuai dengan tingkat kepentingannya. Pada penentuan kriteria terdapat lima indikator dimana pada setiap indikator terdapat beberapa kriteria berdasarkan pada ulasan dari penelitian sebelumnya yang membahas platform blockchain yang ada. Berikut adalah kriteria dan bobot yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1 Kriteria dan Bobot Pada Indikator Platform Blockchain

KRITERIA	BOBOT
Keamanan (Security)	0,25
Kinerja (Performance)	0,2
Skalabilitas (Scalability)	0,2
Biaya (Cost)	0,2
Komunitas dan Dukungan (Community and Support)	0,15

Pada penentuan nilai dan bobot diambil berdasarkan pada beberapa penelitian terdahulu yang sudah di jelaskan dalam landasarn teori di bab dua dimana beberapa platform seperti Ethereum, Hyperledger Fabric, NEO, Quorum dan Stellar terdapat beberapa kiteria pada blockchain dalam dunia Pendidikan yang dapat diterapkan diantaranya terkait keamanan, kinerja, skalabilitas, biaya dan sampai pada komunitas dan dukungan. Kemudian dalam penentuan bobot di ambil nilai range 100 % dimana pada penilaian bobot dibagi menjadi lima bagian dari indikator pada masing-masing kriteria yang nantinya akan disebutkan. Dalam penelitian sebelumnya yang telah dibahas keamanan dianggap sebagai kriteria yang paling penting sehingga dalam penelitian ini indikator keamanan diberikan nilai bobot terbesar yaitu 0.25, diikuti oleh kinerja, skalabilitas, biaya, dan dukungan komunitas dengan bobot masing-masing 0.2 dan 0.15.

Dalam pengumpulan dan fuzzifikasi untuk menentukan kategori indikator tersebut terdapat dalam kategori redah, sedang dan tinggi adalah

dengan di dasari beberapa hal yaitu penentuan rentang nilai dari masing-masing kategori dimana didalamnya seperti keamanan dalam penggunaan algoritma kriptografi dibagi menjadi tiga kategori : Rendah, Sedang, dan Tinggi, berdasarkan panjang kunci kriptografi yang digunakan. Sebagai contoh jika platform menggunakan AES-256 yang merupakan *blockchipertext simetrik* yang dapat mengenkripsi dan dekripsi data/informasi dengan ukuran kunci 256 bit untuk enkripsi, itu akan dianggap memiliki tingkat keanggotaan "Sedang" dalam himpunan *fuzzy* untuk penggunaan algoritma kriptografinya karna memiliki rentang nilai bit 28-256 bit.

indikator di yang digunakan merupakan nilai-nilai numerik atau kualitatif telah diubah menjadi himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang sesuai. Yang selanjutnya adalah mengadaptasi fungsi keanggotaan ini berdasarkan karakteristik dan skala data aktual yang akan dilakukan pemrosesan pada *fuzzy* dan langkah selanjutnya adalah menggabungkan skor *fuzzy* ini dengan bobot kriteria yang telah ditentukan dan melanjutkan dengan langkah-langkah analisis *Fuzzy MCDA*.

Pada langkah ini adalah menghitung skor *fuzzy* untuk setiap platform *blockchain* menggunakan nilai fuzzifikasi dan fungsi keanggotaan *fuzzy* yang sesuai. Ini melibatkan perhitungan nilai *fuzzy* untuk setiap kriteria dan setiap platform. Perhitungan dilakukan berdasarkan indikator dan kriteria yang telah dilakukan. Berikut adalah rumus perhitungannya berdasarkan kategori rendah, sedang dan tinggi.

$$\text{Rendah} \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \frac{\text{Batas Tinggi}-x}{\text{Batas Tinggi}-\text{Batas Rendah}} \right\}$$

jika $x \leq \text{Batas rendah}$
jika $\text{Batas rendah} < x < \text{Batas tinggi}$
if $x \geq \text{Batas tinggi}$

$$\text{Sedang} \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \frac{x - \text{Batas Rendah}}{\text{Batas Tinggi}-\text{Batas Rendah}} \right\}$$

jika $x < \text{Batas rendah}$ atau $x \geq \text{Batas tinggi}$
jika $\text{Batas rendah} < x < \text{Batas tinggi}$

$$\text{Tinggi} \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \frac{x - \text{Batas Rendah}}{\text{Batas Tinggi}-\text{Batas Rendah}} \right\}$$

jika $x \leq \text{Batas rendah}$
jika $\text{Batas rendah} < x < \text{Batas tinggi}$
if $x \geq \text{Batas tinggi}$

Dalam rumus-rumus di atas, x adalah nilai indikator, dan "Batas Rendah" dan "Batas Tinggi" adalah nilai batas yang memisahkan antara himpunan *fuzzy* rendah, sedang, dan tinggi. Nilai-nilai batas ini berdasarkan karakteristik data aktual yang telah miliki. Dengan menggunakan rumus-rumus ini dapat menghitung skor *fuzzy* untuk setiap kriteria pada setiap platform *blockchain* yang akan dibandingkan dalam analisis *Fuzzy MCDA*.

Setelah mendapatkan skor *fuzzy* pada langkah sebelumnya untuk setiap platform, yang selanjutnya adalah melakukan Agregasi dan defuzzifikasi untuk mengubah skor *fuzzy* kembali menjadi nilai numerik yang dapat dibandingkan. Agregasi menggabungkan informasi *fuzzy* dari berbagai sumber atau aturan menjadi satu nilai *fuzzy* tunggal yang mencerminkan hasil keseluruhan. Ini adalah langkah penting dalam sistem pengontrol *fuzzy (fuzzy control systems)* dan sistem kecerdasan buatan lainnya yang menggunakan logika *fuzzy*. Pada tahapan ini akan mengagregasikan nilai dari skor *fuzzy* yang kemudian dilakukan defuzzifikasi untuk setiap platform menggunakan bobot kriteria yang telah ditentukan. Ini melibatkan perhitungan nilai agregat yang mencerminkan penilaian *fuzzy* dari setiap kriteria dan bobotnya. Beberapa metode defuzzifikasi yang akan digunakan nantinya pada perhitungan seperti metode *centroid* atau metode *weighted average*. Pada pemrosesan ini menggunakan nilai numerik dengan metode *centroid* dan berikut adalah rumusnya.

$$\text{Nilai Numerik} = \frac{\sum(\text{Score Fuzzy} \times \text{Nilai Fuzzy})}{\sum \text{Score Fuzzy}}$$

Pada himpunan nilai untuk defuzzifikasi menggunakan nilai *fuzzy* rendah, *fuzzy* sedang dan *fuzzy* tinggi. Seperti tabel berikut.

Tabel 2 Himpunan Defuzzifikasi.

NO	Himpunan Fuzzy	Nilai	Keterangan
1	Fuzzy Rendah	0	FR
2	Fuzzy Sedang	0,5	FS
3	Fuzzy Tinggi	1	FT

Pada perhitungan nilainya adalah sebagai berikut.

- a. Hitungan Nilai Pembilang

$$\text{Pembilang} = (\text{FR} \times 0) + (\text{FS} \times 0,5) + (\text{FT} \times 1)$$
- b. Hitungan nilai Penyebut

$$\text{Penyebut} = \text{FR} + \text{FS} + \text{FT}$$
- c. Hitungan Nilai Numerik (Defuzzifikasi)

$$\text{Nilai Numerik} = \frac{\text{Pembilang}}{\text{Penyebut}}$$

Perhitungan tersebut dilakukan secara berulang pada setiap indikator dari keamanan hingga dukungan dan komunitas dan dilakukan perhitungan dengan menampilkan hasil grafik dari fungsi keanggotaan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan metode *Fuzzy* dimana pemrosesannya menggunakan *Fuzzy Multi Criteria Decion Analysis (FMCDA)*. Dalam penelitian ini telah dilakukan pengumpulan data yang digunakan sebagai pemrosesan dari *Fuzzy Multi Criteria Decision Analysis (FMCDA)* pada *platform blockchain*. Pemilihan *platform blockchain* berdasarkan dari penelitian terdahulu dimana *platform-platform* inilah yang paling relevan dan sering digunakan dalam dunia Pendidikan untuk implementasi *blockchain* tersebut. Penerapan *blockchain* dalam dunia Pendidikan khususnya di Indonesia belum banyak di terapkan dan bahkan masih dalam tahapan pembahasan sehingga landasan dalam penelitian ini berdasarkan dari jurnal-jurnal penelitian terdahulu yang menggunakan *platform* tersebut dalam penggunaannya pada Pendidikan. Pada tahapan penelitian ini sendiri terdiri dari tahapan pengumpulan data, pemrosesan *fuzzy* yang mana dalam pemrosesan ini terdapat beberapa langkah yang dilakukan seperti penentuan kriteria dan bobot, pengumpulan data dan *fuzzyfikasi*, perhitungan *score*, defuzzifikasi, perhitungan agregasi dan perankingan

Setelah kriteria dan bobot dari ditemukan selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data dan Fuzzifikasi. Pengumpulan data yang relevan untuk setiap kriteria dari masing-masing *platform blockchain* yang digunakan yaitu *Ethereum*, *NEO*, *Stellar*, *Hyperledger Fabric*, dan *Quorum*. Data ini kemudian defuzzifikasi menggunakan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk

mengubah nilai numerik menjadi himpunan *fuzzy*. Proses fuzzifikasi dilakukan dengan mempertimbangkan rentang nilai yang mungkin muncul dalam data dan mengonversinya ke dalam himpunan *fuzzy*, yaitu rendah (*Low*), sedang (*Medium*), dan tinggi (*High*).

Setelah dilakukan hasil pengolahan fuzzifikasi sebelumnya maka dilakukan perhitungan skor masing – masing *platform* berdasarkan hasil fuzzifikasi (sedang, rendah, tinggi) dari kriteria-kriteria yang telah dijelaskan sebelumnya. Perhitungan skor dilakukan dengan menggunakan metode *Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis (Fuzzy MCDA)* dengan bobot kriteria yang telah ditetapkan (0.25 untuk keamanan, 0.20 untuk kinerja, 0.20 untuk skalabilitas, 0.20 untuk biaya, dan 0.15 untuk komunitas dan dukungan)berikut adalah hasil dari perhitungan skor *fuzzy* seluruh *platform blockchain*.

Tabel 3 Hasil perhitungan Skor *Fuzzy* pada Semua *Platform*

No	Indikator Kriteria	Skor Fuzzy				
		Ethereum	Hyperledger Fabric	NEO	Quorum	Stellar
1	Keamanan (Security)	0.71	0.71	0.71	0.71	0.50
2	Kinerja (Performance)	0.32	0.32	0.32	0.44	0.44
3	Skalabilitas (Scalability)	0.65	0.65	0.65	0.80	0.80
4	Biaya (Cost)	0.47	0.62	0.47	0.62	0.47
5	Komunitas dan Dukungan (Community and Supportin g)	0.68	0.80	0.71	0.71	0.59

Setelah mendapatkan skor *fuzzy* pada langkah sebelumnya untuk setiap *platform*, maka selanjutnya melakukan Agregasi dan defuzzifikasi untuk mengubah skor *fuzzy* kembali menjadi nilai numerik yang dapat dibandingkan. Beberapa perhitungan agregasi dan metode defuzzifikasi yang akan digunakan nantinya pada perhitungan seperti metode *centroid* atau metode *weighted average*.

Himpunan nilai untuk Agregasi dan defuzzifikasi Berdasarkan hasil dari perhitungan skor *fuzzy* yaitu hasil dari nilai *fuzzy* rendah, *fuzzy* sedang dan *fuzzy* tinggi.

Pada hasil perhitungan skor *fuzzy* diatas merupakan hasil kriteria pada setiap *platform*. Dalam langkah terakhir dari pemrosesan pada *platform blockchain*, digunakan Metode *Centroid* untuk defuzzifikasi nilai fuzzifikasi yang diperoleh dari penilaian kriteria yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil defuzzifikasi ini digunakan nilai merepresentasikan keseluruhan skor *fuzzy* dari setiap *platform*. Proses defuzzifikasi ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih konkret dan jelas terhadap penilaian relatif *platform-platform* tersebut. Pada perhitungan nilai defuzzifikasi menggunakan bobot nilai dalam kriteria yang telah disebutkan sebelumnya pada tabel 3. berikut adalah perhitungan Agregasi defuzzifikasi pada setiap *platform*

1. **Ethereum**

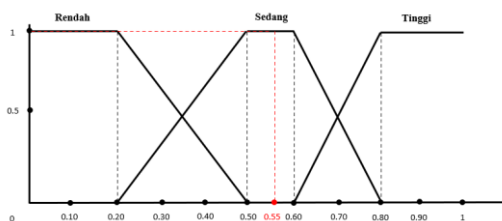
Dalam tabel 4.14 telah disebutkan hasil dari perhitungan skor *fuzzy* pada setiap *platform*. Adapun perhitungan defuzzifikasinya adalah sebagai berikut. Nilai maksimum *Fuzzyfikasi* = Max (0.71,0.32,0.65,0.47,0.68) = 0.71

$$Defuzzifikasi = (0.71 \times 0.25) + (0.32 \times 0.20) + (0.65 \times 0.20) + (0.47 \times 0.20) + (0.68 \times 0.15)$$

$$Defuzzifikasi = 0.17 + 0.06 + 0.13 + 0.09 + 0.10$$

$$Defuzzifikasi = 0.55$$

Berikut adalah derajat keanggotaan dalam perhitungan defuzzifikasinya yang menunjukkan apakah kurva pada hasil defuzzifikasi 0.55 rendah, sedang atau tinggi. Berikut hasilnya.



Gambar 3 Kurva Derajat Keanggotaan

Dalam kurva fungsi keanggotaan dapat terlihat bentuk fungsi keanggotaan pada nilai 0.56 adalah bentuk trapesium. Berikut adalah fungsinya $\mu[0.56;0.20, 0.50, 0.60, 0.80]$ Jika dilihat kembali pada rumus fungsi keanggotaan Trapesium yang telah di jelaskan pada bab 2 dimana jika ($b \leq x \leq c$) maka nilainya adalah 1. Dapat dilihat pada gambar 4.1 pada hasil kurva derajat keanggotaan *fuzzy* dimana nilai 0.56 berada pada garis antara nilai 0.50 sampai pada nilai 0.60 yang dimana 0.50 adalah nilai a dan 0.60 adalah nilai b maka nilainya adalah 1. Maka pengukuran pada *platform ethereum* untuk pendidikan nilai nilainya adalah sedang.

2. **Hyperledger Fabric**

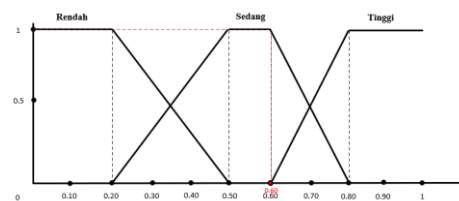
Dalam tabel 4.14 telah disebutkan hasil dari perhitungan skor *fuzzy* pada setiap *platform*. Adapun perhitungan defuzzifikasinya untuk *platform Hyperledger Fabric* adalah sebagai berikut. Nilai maksimum *Fuzzyfikasi* = Max (0.71, 0.32, 0.65, 0.62, 0.80) = 0.80

$$Defuzzifikasi = (0.71 \times 0.25) + (0.32 \times 0.20) + (0.65 \times 0.20) + (0.62 \times 0.20) + (0.80 \times 0.15)$$

$$Defuzzifikasi = 0.17 + 0.06 + 0.13 + 0.12 + 0.12$$

$$Defuzzifikasi = 0.60$$

Berikut adalah derajat keanggotaan dalam perhitungan defuzzifikasinya yang menunjukkan apakah kurva pada hasil defuzzifikasi 0.60 rendah, sedang atau tinggi. Berikut hasilnya.



Gambar 4 Kurva Derajat Keanggotaan

Dalam kurva fungsi keanggotaan dapat terlihat bentuk fungsi keanggotaan pada nilai 0.60 adalah bentuk trapesium. Berikut adalah fungsinya $\mu[0.60;0.20, 0.50, 0.60, 0.80]$ Jika dilihat kembali pada rumus

fungsi keanggotaan Trapesium yang telah di jelaskan pada bab 2 dimana jika ($b \leq x \leq c$) maka nilainya adalah 1. Dapat dilihat pada gambar 4.1 pada hasil kurva derajat keanggotaan *fuzzy* dimana nilai 0.60 berada pada garis antara nilai 0.50 sampai pada nilai 0.60 yang dimana 0.50 adalah nilai a dan 0.60 adalah nilai b maka nilainya adalah 1. Maka pengukuran pada *platform ethereum* untuk pendidikan nilai nilainya adalah sedang.

3. **NEO**

Dalam tabel 4.14 telah disebutkan hasil dari perhitungan skor *fuzzy* pada setiap *platform*. Adapun perhitungan defuzzifikasinya untuk *platform NEO* adalah sebagai berikut.

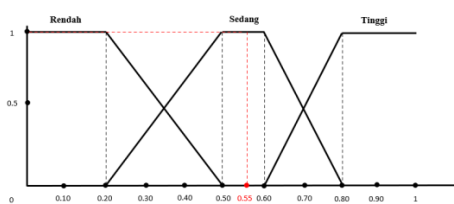
Nilai maksimum *Fuzzyfikasi* = Max (0.71, 0.32, 0.65, 0.47, 0.71) = 0.71

$$\begin{aligned} \text{Defuzzifikasi} = & (0.71 \times 0.25) + \\ & (0.32 \times 0.20) + \\ & (0.65 \times 0.20) + \\ & (0.47 \times 0.20) + \\ & (0.71 \times 0.15) \end{aligned}$$

$$\text{Defuzzifikasi} = 0.17 + 0.06 + 0.13 + 0.09 + 0.10$$

$$\text{Defuzzifikasi} = 0.55$$

Berikut adalah derajat keanggotaan dalam perhitungan defuzzifikasinya yang menunjukkan apakah kurva pada hasil defuzzifikasi 0.55 rendah, sedang atau tinggi. Berikut hasilnya.



Gambar 5 Kurva Derajat Keanggotaan

Dalam kurva fungsi keanggotaan dapat terlihat bentuk fungsi keanggotaan pada nilai 0.55 adalah bentuk trapesium. Berikut adalah fungsinya $\mu[0.55;0.20, 0.50, 0.60, 0.80]$ Jika dilihat kembali pada rumus fungsi keanggotaan Trapesium yang telah di jelaskan pada bab 2 dimana jika ($b \leq x \leq c$) maka nilainya adalah 1. Dapat dilihat pada gambar 4.1 pada hasil kurva derajat

keanggotaan *fuzzy* dimana nilai 0.55 berada pada garis antara nilai 0.50 sampai pada nilai 0.60 yang dimana 0.50 adalah nilai a dan 0.60 adalah nilai b maka nilainya adalah 1. Maka pengukuran pada *platform NEO* untuk pendidikan nilai nilainya adalah sedang.

4. **Quorum**

Dalam tabel 4.14 telah disebutkan hasil dari perhitungan skor *fuzzy* pada setiap *platform*. Adapun perhitungan defuzzifikasinya untuk *platform Quorum* adalah sebagai berikut.

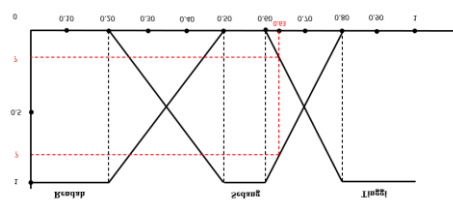
Nilai maksimum *Fuzzyfikasi* = Max (0.71, 0.44, 0.80, 0.62, 0.71) = 0.80

$$\begin{aligned} \text{Defuzzifikasi} = & (0.71 \times 0.25) + \\ & (0.44 \times 0.20) + \\ & (0.80 \times 0.20) + \\ & (0.62 \times 0.20) + \\ & (0.71 \times 0.15) \end{aligned}$$

$$\text{Defuzzifikasi} = 0.17 + 0.08 + 0.16 + 0.12 + 0.10$$

$$\text{Defuzzifikasi} = 0.63$$

Berikut adalah derajat keanggotaan dalam perhitungan defuzzifikasinya yang menunjukkan apakah kurva pada hasil defuzzifikasi 0.63 rendah, sedang atau tinggi. Berikut hasilnya.



Gambar 4.4 Kurva Derajat Keanggotaan

Dapat dilihat pada kurva diatas bahwa nilai 0.63 dapat dihitung dengan nilai fungsi keanggotaan trapesium yaitu sedang dan linier naik pada nilai tinggi. Berikut akan kita hitung terlebih dahulu dengan fungsi keanggotaan trapesium dimana nilai tersebut adalah sedang.

Nilai pada Fungsi keanggotaan hasil dari defuzzifikasi adalah 0.63 dimana nilai tersebut rentang antara nilai 0.60 dan nilai

0.80 maka sesuai pada rumus fungsi keanggotaan trapesium jika $c \leq x \leq d$ maka rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\mu(x; a, b, c, d) = \left\{ \frac{d-x}{d-c} \right\}$$

$$\begin{aligned} \mu(0.63; 0.20, 0.50, 0.60, 0.80) &= \frac{0.80 - 0.63}{0.80 - 0.60} \\ &= \frac{0.17}{0.20} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu(0.63; 0.20, 0.50, 0.60, 0.80) &= \frac{0.17}{0.20} \\ \mu &= 0.85 \end{aligned}$$

Maka nilai pada fungsi keanggotaan pada nilai sedang adalah 0.85

Selanjutnya akan dilihat pada derajat keanggotaan pada nilai tinggi dimana jika dilihat pada gambar 4.4 kurva pada nilai tinggi adalah berbentuk linier naik dan nilai 0.63 terletak antara nilai 0.60 sampai dengan 0.80 yang jika kita lihat pada rumus fungsi keanggotaan linier naik adalah sebagai berikut.

$$\mu(x; a, b) = \left\{ \frac{x-a}{b-a} \right\}$$

$$\mu(0.63; 0.60, 0.80) = \frac{0.63 - 0.60}{0.80 - 0.60}$$

$$\mu(0.63; 0.60, 0.80) = \frac{0.03}{0.20}$$

$$\mu = 0.15$$

Maka nilai pada fungsi keanggotaan pada nilai tinggi adalah 0.15 jika dibandingkan dengan nilai sedang yaitu 0.85 maka yang mendekati nilai 1 adalah derajat keanggotaan sedang. Dan nilai 0.63 pada platform *Quorum* adalah sedang.

5. Stellar

Dalam tabel 4.14 telah disebutkan hasil dari perhitungan skor fuzzy pada setiap platform. Adapun perhitungan defuzzifikasinya untuk platform *Stellar* adalah sebagai berikut.

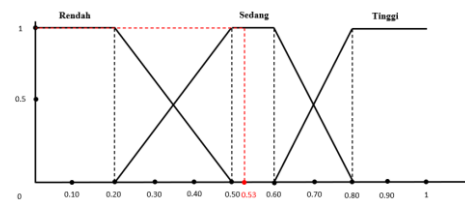
$$\text{Nilai maksimum Fuzzyfikasi} = \text{Max}(0.50, 0.44, 0.80, 0.47, 0.59) = 0.80$$

$$\begin{aligned} \text{Defuzzifikasi} &= (0.50 \times 0.25) + \\ & \quad (0.44 \times 0.20) + \\ & \quad (0.80 \times 0.20) + \\ & \quad (0.47 \times 0.20) + \\ & \quad (0.59 \times 0.15) \end{aligned}$$

$$\text{Defuzzifikasi} = 0.12 + 0.08 + 0.16 + 0.09 + 0.08$$

$$\text{Defuzzifikasi} = 0.53$$

Berikut adalah derajat keanggotaan dalam perhitungan defuzzifikasinya yang menunjukkan apakah kurva pada hasil defuzzifikasi 0.53 rendah, sedang atau tinggi. Berikut hasilnya.



Gambar 6 Kurva Derajat Keanggotaan

Dalam kurva fungsi keanggotaan dapat terlihat bentuk fungsi keanggotaan pada nilai 0.53 adalah bentuk trapesium. Berikut adalah fungsinya $\mu[0.56; 0.20, 0.50, 0.60, 0.80]$ Jika dilihat kembali pada rumus fungsi keanggotaan Trapesium yang telah di jelaskan pada bab 2 dimana jika $(b \leq x \leq c)$ maka nilainya adalah 1. Dapat dilihat pada gambar 4.5 pada hasil kurva derajat keanggotaan fuzzy dimana nilai 0.53 berada pada garis antara nilai 0.50 sampai pada nilai 0.60 yang dimana 0.50 adalah nilai a dan 0.60 adalah nilai b maka nilainya adalah 1. Maka pengukuran pada platform *Stellar* untuk pendidikan nilai nilainya adalah sedang.

Setelah perhitungan nilai agregasi dan defuzzifikasi yang dihitung, langkah yang terakhir adalah melakukan perbandingan pada platform-platform berdasarkan nilai tersebut. Platform dengan nilai agregat tertinggi adalah yang dianggap sebagai yang terbaik dalam konteks kriteria dan bobot yang telah ditentukan. Dari perhitungan yang telah dilakukan diatas terdapat kriteria dan nilai sesuai dengan hasil dari masing-masing platform *Blockchain* berikut adalah rangkuman hasil perhitungan nilai menggunakan Fuzzy MCDA sebagai berikut.

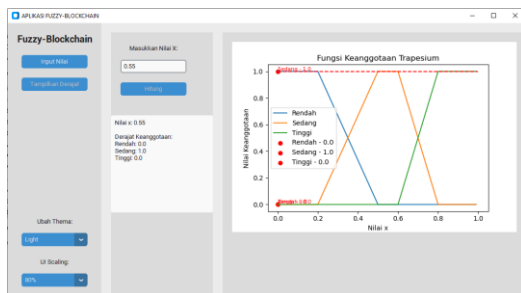
Tabel 4.16 Perangkingan Platform Blockcahin

No	Urutan Platform Blockchain	Fuzzyfikasi			Agregasi dan Defuzzifikasi
		Rendah	Sedang	Tinggi	
1	Quorum	0.00	0.85	0.15	0.63
2	Hyperledger Fabric	0.00	1.00	0.00	0.60
3	Ethereum	0.00	1.00	0.00	0.55
4	NEO	0.00	1.00	0.00	0.55
5	Stellar	0.00	1.00	0.00	0.53

Dalam mengevaluasi platform terbaik untuk pendidikan berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan, penelitian ini menunjukkan bahwa Platform Quorum mendominasi dengan nilai agregasi rata-rata sebesar 0.63. Keunggulan ini didukung oleh sejumlah faktor, termasuk Keamanan (Security), Kinerja (Performance), Skalabilitas (Scalability), Biaya (Cost) dan Komunitas dan Dukungan (Community and Supporting).

Menyusul Quorum, Hyperledger Fabric juga memperoleh peringkat tinggi dengan nilai 0.62. Platform ini menunjukkan keunggulan dalam beberapa aspek, seperti keamanan dan skalabilitas yang sangat baik kemudian Komunitas dan Dukungan yang sangat baik untuk menangani skala besar, menjadikannya pilihan yang solid untuk keperluan pendidikan.

Dalam memilih platform terbaik untuk pendidikan, perlu dicatat bahwa kebutuhan dan tujuan spesifik lembaga pendidikan harus diperhitungkan. Penggunaan teknologi blockchain dalam pendidikan menjanjikan transformasi signifikan, dan pemilihan platform yang tepat akan memastikan tercapainya tujuan pendidikan yang optimal. Dalam penelitian ini juga dibuat perhitungan derajat keanggotaan menggunakan tool python dalam membuat guinya berikut adalah hasil dari tool yang dibuat.



Gambar 7 Gui perhitungan Fuzzy

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan juga pembahasan yang telah dilakukan mengenai Penerapan Metode Multi-Kriteria Fuzzy System Untuk Mengukur Efektifitas Pada Blockchain Pendidikan maka berikut adalah hasil kesimpulan pada perhitungan dalam menentukan platform terbaik mana yang sesuai dengan dunia pendidikan.

1. Penggunaan metode Fuzzy MCDA dalam menentukan platform terbaik pada blockchain dimana pada penelitian ini menggunakan lima platform blockchain yang akan dilakukan fuzzifikasi dalam menentukan platform mana yang terbaik untuk dunia Pendidikan diantaranya Ethereum, Hyperledger Fabric, NEO, Quorum dan Stellar.
2. Hasil Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan Fuzzy MCDA menemukan bahwa Platform Blockchain Quorum adalah Platform terbaik diantara platform lainnya dalam dunia Pendidikan dengan nilai pada perhitungan Fuzzy MCDA sebesar 0.63 dimana dalam perhitungan Platform Quorum ini mendapatkan Fuzzifikasi sedang sebesar 0.85 dan mendekati tinggi sebesar 0.15 yang hanya selisih sedikit jika dibanding dengan platform Hyperledger Fabric yang berada dalam urutan dua terbesar yaitu dengan nilai Fuzzy MCDA sebesar 0.62 dan nilai fuzzifikasi sedangkan 0.90 dan mendekati tinggi sebesar 0.10.
3. Penghitungan nilai Fuzzy pada tiap Platform didasarkan pada perhitungan yang dalam kriteria dan indikator yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan kebutuhan pada sektor Pendidikan diantaranya dalam hal Keamanan (Security), Kinerja (Performance), Skalabilitas (Scalability), Biaya (Cost) dan Komunitas dan Dukungan (Community and Supporting).
4. Pada perhitungan menggunakan perhitungan manual dalam Fuzzy MCDA dan perhitungan menggunakan aplikasi yang sebelumnya dibuat menggunakan python menghasilkan perhitungan yang sama. Yang menggambarkan bahwa baik metode perhitungan manual maupun aplikasi memberikan output yang serupa,

menunjukkan tingkat akurasi dan validitas yang baik dalam proses evaluasi.

Berdasarkan hasil penelitian dan juga pembahasan yang telah dilakukan mengenai Penerapan Metode Multi-Kriteria *Fuzzy System* Untuk Mengukur Efektifitas Pada *Blockchain* Pendidikan. Berikut adalah saran dari penelitian ini.

Pada perhitungan ini diperlukan analisis lebih lanjut untuk memahami implikasi dan variabel yang mungkin memengaruhi hasil yang serupa ini, membuka peluang untuk pengembangan metode evaluasi yang lebih lanjut atau penyesuaian parameter yang memperkuat validitas hasil pengolahan. Minimnya data dan penelitian terdahulu tentang *blockchain* dalam dunia Pendidikan menjadikan penelitian ini kurang berjalan baik dalam menentukan indikator dan kriteria dalam menentukan pemrosesan Fuzzifikasi. Terlebih penggunaan *platform Blockchain* di Indonesia masih belum di terapkan. Dalam pengembangan penelitian selanjutnya diharapkan melakukan analisis terkait dengan penggunaan kriteria dan indikator yang lebih baik untuk menghasilkan hasil pemilihan *platform blockchain* yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Ilieva, T. Yankova, I. Radeva, and I. Popchev, "Blockchain software selection as a fuzzy multi-criteria problem," *Computers*, vol. 10, no. 10, pp. 1–24, 2021, doi: 10.3390/computers10100120.
- [2] A. C. Nugraha, "Penerapan Teknologi Blockchain dalam Lingkungan Pendidikan," *Produktif J. Ilm. Pendidik. Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 302–307, 2022, doi: 10.35568/produktif.v4i1.386.
- [3] L. Min and G. Bin, "Online teaching research in universities based on blockchain," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 27, no. 5, pp. 6459–6482, 2022, doi: 10.1007/s10639-022-10889-w.
- [4] D. W. Iswanto¹, Novianti Indah Putri², Zen Munawar³, Rita Komalasari⁴, "Jurnal Analisis Pemanfaatan Teknologi Blockchain di Bidang Pendidikan," vol. 5, pp. 174–181, 2023, doi: 10.38204/tematik.v9i2.1082.
- [5] A. Alammary, S. Alhazmi, M. Almasri, and S. Gillani, "Applsci-09-02400.Pdf," *MDPI - Appl. Sci.*, vol. 9, no. 2400, pp. 1–18, 2019.
- [6] Q. Aini, U. Rahardja, N. Puji, L. Santoso, and A. Oktariyani, "Aplikasi Berbasis Blockchain Dalam Dunia Pendidikan," vol. 6, no. 1, 2021.
- [7] M. O. Augusta, C. P. Oktaviandi Syeira, and A. Hadiapurwa, "Penggunaan Teknologi Blockchain Dalam Bidang Pendidikan," *Produktif J. Ilm. Pendidik. Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 2, pp. 437–442, 2022, doi: 10.35568/produktif.v5i2.1259.
- [8] R. Afrijal, A. P. Kusuma, and F. Febrinta, "Penerapan Logika Fuzzy Untuk Mengukur Efektifitas Penggunaan Aplikasi E-Learning (Edlink) Selama Proses Pembelajaran Dengan ...," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. ...)*, vol. 7, no. 1, pp. 6–12, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/6020%0Ahttps://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/download/6020/3543>