

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Penelitian Terkait

Sebelum melakukan penelitian ini, terlebih dahulu peneliti mengumpulkan dan mengkaji hasil-hasil penelitian terkait yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Hal tersebut penting untuk mengetahui *state of the art* pada bidang yang akan diteliti. Penerapan rancangan *blockchain* telah dikerjakan oleh beberapa penelitian sebelumnya di kerjakan di beberapa bidang sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan oleh [7] yang menjelaskan tentang penggunaan teknologi *blockchain* dalam bidang pendidikan dimana dalam penelitian ini disebutkan bahwa Masalah-masalah pendidikan seperti transparansi nilai, efisiensi dan keaslian ijazah dapat diatasi dengan *blockchain*, karena *blockchain* dapat dimanfaatkan dalam manajemen sertifikat dan identitas dan meningkatkan serta memfasilitasi pembelajaran seumur hidup. Penggunaan *Blockchain* dalam dunia Pendidikan dapat menguntungkan pelajar, keamanan dan peningkatan efisiensi untuk institusi pendidikan, bisnis, dan pelajar, serta Integrasi kepercayaan dan transparansi. Hasil dari penelitian ini adalah pengaplikasian *blockchain* dalam bidang pendidikan dapat meningkatkan motivasi pembelajar dan pengajar, meningkatkan keefektifan proses belajar dan mengajar, mempermudah pencari pekerja untuk mendapatkan pekerjaan dan perekrut dalam mencari pekerja yang cocok dengan kriteria pekerjaan.

Peneliti yang dilakukan oleh [1] yang menjelaskan tentang pemilihan perangkat lunak *blockchain* sebagai *fuzzy* masalah *multi-kriteria*. Dalam penelitian ini bertujuan bagaimana dapat memberikan solusi *platform blockchain* untuk bidang bisnis pertanian, peneliti menyajikan solusi untuk menggunakan *platform blockchain* yang tepat untuk bisnis pertanian dengan menggunakan metode multi-kriteria dan *fuzzy* untuk menghitung pembobotan dan perbandingan.

Penelitian yang dilakukan oleh [9] yang menjelaskan tentang implementasi teknologi *blockchain* di perpustakaan yaitu tentang peluang, tantangan dan hambatan. Dalam penelitian ini di jelaskan potensi yang bisa diaplikasikan dari teknologi *blockchain* bagi perpustakaan di antaranya adalah pengadaan dan pemeliharaan bahan pustaka, inovasi layanan sirkulasi, katalogisasi, jaminan perlindungan data pribadi dan kartu anggota perpustakaan, penerbitan *e-book*, dukungan untuk publikasi ilmiah dan manajemen hak digital, manajemen koleksi khusus, dukungan penelitian, literasi keuangan, dan analisis perpustakaan.

Penelitian yang dilakukan oleh [2] yang menjelaskan tentang Penerapan Teknologi *Blockchain* dalam Lingkungan Pendidikan. Dimana dalam penelitian ini dijelaskan bahwa pemanfaatan *Blockchain* tidak sebatas pada mata uang kripto. Sebab, teknologi yang berfungsi merekam data dan transaksi ini bisa digunakan untuk banyak sektor seperti pencatatan proses transaksi, dokumentasi, bahkan pemungutan suara. Dalam penelitian tersebut disebutkan bahawa *usecase* yang relevan dalam penggunaan teknologi *Blockchain* di lingkungan Pendidikan, khususnya pengolahan data di perguruan tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh [10] yang menjelaskan tentang *blockchain* dan kecerdasan buatan dalam pertanian. Dalam penelitian ini dijelaskan tentang pengulasan *blockchain* dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence/AI*) dimana teknologi tersebut memberikan tantangan riset ke depan terkait implementasinya di bidang pertanian. Metodologi yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dan *text mining*. *Text mining* digunakan untuk memberikan deskripsi riset yang ada berdasarkan kata-kata di setiap artikel terpilih. SLR digunakan untuk memberikan ulasan yang komprehensif terkait riset *Blockchain* dan kecerdasan Buatan dalam pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 10 % penelitian terkait penerapan *blockchain* dan AI dalam pertanian. Riset tersebut memiliki potensi besar untuk berkembang terlihat dari peningkatan jumlah publikasi dalam 2 tahun terakhir. Kontribusi penelitian ini meliputi posisi riset terkini dan usulan riset ke depan dengan mempertimbangkan kondisi pertanian Indonesia.

Dalam pemaparan *review* penelitian terdahulu diatas dapat di simpulkan bahwa penerapan teknologi *blockchain* telah di lakukan di beberapa bidang termasuk dalam bidang pendidikan. Penerapan dalam bidang pendidikan yang ada di indonesia masih belum banyak di lakukan dan penerapan berupa rancangan dalam penelitian ini. Oleh karena itu penerapan metode multi-kriteria *fuzzy system* untuk mengukur efektifitas pada *blockchain* pendidikan perlu di lakukan agar penarapan dalam bidang pendidikan dapat dilakukan secara optimal.

2.2. Landasan Teori

A. *Blockchain*

Blockchain sebagai alat untuk pengumpulan dan pemrosesan data merupakan landasan keberhasilan transformasi digital *Blockchain* adalah sistem di mana daftar catatan berurutan yang berkembang (diwakili oleh *blok*) dihubungkan menggunakan algoritma kriptografi. Konsep asal *blockchain* dari kertas putih yang ditulis oleh Nakamoto Satoshi pada tahun 2008. Setiap blok berisi *hash* kriptografi dari blok sebelumnya, stempel waktu, dan data transaksi. Basis data terdistribusi ini menyimpan catatan semua transaksi atau peristiwa digital yang telah dijalankan dan dibagikan di antara pihak-pihak yang berpartisipasi, Tidak seperti sistem informasi klasik, di mana *database* terpusat dikendalikan hanya oleh perwakilan resmi dari suatu organisasi, dalam sistem *blockchain* tidak ada yang dapat mengubah data secara mandiri dan sepihak. *Blockchain*, adalah buku besar terdistribusi, memiliki blok berurutan, yang dihubungkan satu sama lain melalui nilai *hash* dari *header* blok sebelumnya [11].

Blockchain merupakan masing-masing *block* yang dilindungi oleh kriptografi ini saling terhubung dan membuat suatu jaringan. Semua komputer dalam jaringan secara kontinu dan matematis memverifikasi salinan *Blockchain* dengan semua salinan lain di jaringan. *Blockchain* merupakan kombinasi dari beberapa teknik yaitu kriptografi, matematika, algoritma dan algoritma konsensus terdistribusi. *Blockchain* memiliki enam komponen penting yaitu sebagai berikut [7].

1. Terdesentralisasi. *Blockchain* tidak bergantung dengan satu sistem komputer (*node*), tetapi semua *node* yang ada di dalam jaringan *blockchain* dapat

mencatat, menyimpan, dan memperbarui data yang ada. *Node* yang berhubungan satu sama lain itulah yang disebut *blockchain*.

2. **Transparansi.** Data yang ada di dalam blok yang tercatat dan tersebar pada masing-masing *node* dapat diakses oleh *node-node* yang terhubung dalam *blockchain* tersebut.
3. **Anonim.** Data yang tersebar dalam *blockchain* bersifat anonim karena data yang masuk akan diproses dengan teknik *hashing* yang akan menyembunyikan informasi data tersebut.
4. **Konsensus Dasar.** Perubahan dalam *blockchain* hanya akan terjadi jika terdapat kesepakatan bersama (konsensus) dari mayoritas *node* yang terhubung dengan *blockchain*.
5. **Abadi.** Semua data tersimpan secara permanen dan tidak bisa diubah kecuali seseorang dapat menguasai lebih dari 51% *node* dengan serentak.
6. **Sumber Terbuka.** Kebanyakan dari sistem *blockchain* terbuka untuk semua orang, seseorang dapat mengubah kode sistem *blockchain* sesuai dengan kebutuhannya.

Terdapat beberapa jenis *blockchain* yaitu *publik*, *permissioned*, dan *private*. *Blockchain* publik adalah *blockchain* yang mengizinkan siapapun untuk bergabung dan berkontribusi ke dalam jaringannya. Kelebihan dari *blockchain* publik adalah *blockchain* menyediakan sistem yang benar-benar terdesentralisasi, demokratis, dan bebas dari otoritas. *Permissioned blockchain* hanya mengizinkan orang-orang yang telah diizinkan untuk berpartisipasi, misalnya anggota suatu organisasi, yang diundang dan divalidasi sebelum bergabung ke dalam jaringan. Jenis *blockchain* yang terakhir adalah *private* yang hampir sama dengan *blockchain permissioned*, perbedaannya adalah *private blockchain* dimiliki dan diurus oleh satu organisasi[12].

Dalam penerapannya Aplikasi *Blockchain* yang dikenal luas saat ini adalah sebuah *ledger*/buku besar transaksi yang menerapkan *cryptocurrency*, seperti *Bitcoin* dan *Ether*. Dalam sebuah *ledger* publik, *Blockchain* memberikan catatan asal dan pengalihan kepemilikan suatu aset. Struktur transaksional protokol *Blockchain*

memfasilitasi tidak hanya transfer mata uang digital, tetapi juga aset digital lainnya. Aset dapat berwujud, seperti rumah, mobil, uang tunai, tanah, atau tidak berwujud seperti kekayaan intelektual, seperti paten, hak cipta, atau merek. Secara virtual, segala sesuatu yang bernilai dapat dilacak dan diperdagangkan di jaringan *Blockchain*, mengurangi resiko dan memangkas biaya untuk semua yang terlibat. Properti kunci lainnya yang terkait dengan *Blockchain* adalah keamanan, imutabilitas dan programabilitas, yang menjadi karakter protokol konsensus yang dijalankan [13]. Dalam pengembangan dan penerapan *Blockchain*, kecenderungan pengguna lebih difokuskan pada penerapan teknologi tersebut di permasalahan yang berkaitan dengan digital *disruption*, ekonomi digital, industri pengetahuan dan sistem inovasi. Hal ini memungkinkan para pengembang untuk memahami konteks gangguan digital. Namun, biasanya bukan hanya teknologi digital yang penting, namun juga *pentrigger* sosial-ekonomi yang menciptakan permintaan untuk teknologi. Dalam penelitian [2] juga disebutkan bahwa dalam merancang sebuah bisnis digital yang harus pertama disiapkan adalah bagaimana membuat orang memahami akan kebutuhannya, barulah mengidentifikasi teknologi digital yang dapat mensolusikannya. Mengadaptasi dari teori tersebut maka diusulkan seperangkat prinsip dasar yang mendukung proposisi nilai sosial teknologi dari *Blockchain* untuk menerapkan teknologi *Blockchain* di sektor pendidikan. Teknologi yang dapat diacu dalam penerapan teknologi *Blockchain* dikelompokkan menjadi 6 fitur, yaitu :

1. *Self-Sovereignty*, yaitu adanya kebebasan kepada kemampuan individu dalam mengidentifikasi dan *menshare* data maupun informasi yang dimiliki. Sehingga pengguna *Blockchain* diberi otoritas mandiri dalam mengelola dan *menshare asset* yang dimilikinya untuk satu kebutuhan yang terdefinisi.
2. *Trust*, Teknologi *Blockchain* disiapkan untuk saling bertransaksi dalam lingkungan yang aman karena adanya transaksi *peer-to peer* antar konsensus yang diciptakan dengan tingkat keamanan yang tinggi melalui implementasi *cryptocurrency* yang mengutamakan otentikasi dan otorisasi;
3. *Transparency and Provenance*, sehingga setiap transaksi yang terjadi dalam teknologi *Blockchain relative* transparan dan berasal dari pihak yang terverifikasi;

4. *Immutability*, terkait dengan keamanan, ketahanan dan kekekalan dokumen/*asset* yang ditransaksikan karena data/informasi yang sudah dientrykan tidak dapat dihapus maupun diubah sepihak tanpa memperhatikan pihak lain yang terlibat dalam konsensus yang dibentuk;
5. *Disintermediation*, dengan teknologi *Blockchain*, algoritma konsensus *peer-to-peer* secara transparan mencatat dan memverifikasi transaksi tanpa pihak ketiga, sehingga berpotensi mengurangi atau bahkan menghilangkan biaya, keterlambatan, dan kompleksitas umum yang mungkin terjadi;
6. *Collaboration*, semua transaksi *peer-to peer* dilakukan dalam jaringan internal yang melibatkan konsensus tertentu dimana antar pihak yang terlibat harus memperhatikan dan beritikad sama untuk merealisasikan 5 keutamaan dari teknologi *Blockchain* di atas.

B. Platform Blockchain

Blockchain sebagai alat untuk pengumpulan dan pemrosesan data adalah landasan untuk transformasi digital yang sukses. Namun, penggunaan di dalam dunia pendidikan yang masih banyak belum diterapkan untuk kepentingan lainnya masih belum terbiasa dengan kemampuan teknologi ini dalam mengotomatiskan transaksi dalam pendidikan dan meningkatkan manajemen administrasi lainnya. Pada bagian ini terdapat karakteristik dasar dari teknologi *blockchain* yang disajikan, kemudian *platform blockchain* yang paling banyak digunakan dibandingkan dan aplikasi *blockchain* di bidang pendidikan. Berikut adalah beberapa *blockchain* yang akan coba diukur keefektifitasnya dalam bidang Pendidikan yang dikutip dari berbagai sumber yang telah di temukan diantaranya terdapat platform (*Ethereum*, *Hyperledger Fabric*, *NEO*, *Quorum* dan *Stellar*). Berikut adalah penjelasan dari beberapa *platform blockchain* tersebut.

1. *Ethereum*

Ethereum adalah *platform blockchain* sumber terbuka untuk kontrak cerdas pada jaringan yang dibuat khusus. *Ethereum* adalah teknologi perangkat lunak terdesentralisasi, dan dapat digunakan untuk menyusun, mendesentralisasikan, mengamankan, dan memperdagangkan [14]. *Ethereum* memungkinkan aplikasi

terdistribusi (*DApps*) dibuat tanpa *downtime*, penipuan, kontrol, atau gangguan dari pihak ketiga mana pun. *DApps* memanfaatkan *smart contract* dan berjalan di mesin *virtual Ethereum* [15]. Beberapa contohnya termasuk *platform* pembayaran mikro, fungsi reputasi, aplikasi perjudian *online*, penjadwal, dan pasar P2P. *Ethereum* memiliki bahasa pemrograman aslinya sendiri (*Soliditas*) untuk pengembangan dan penyebaran *DApps*. Dalam penelitian [16] disebutkan bahwa *blockchain Ethereum* dapat digunakan untuk membuat model dalam menyesuaikan Pendidikan mereka dengan kebutuhan pasar dan sementara kinerja siswa mereka dapat terpantau. Kemudian siswa dapat memperbarui sertifikat dan kualifikasi mereka di verifikasi oleh siapa saja. *Platform* ini memungkinkan perusahaan untuk membuat jaringan berizin pribadi sesuai dengan kebutuhan khusus mereka. Beberapa hal yang terdapat dalam *blockchain Ethereum* yang nantinya akan digunakan sebagai indikator dalam melakukan *fuzzyfikasi* dalam penelitian ini menurut [17] adalah sebagai berikut :

- a. Pengembangan sebuah *platform* yang menciptakan sebuah daftar digital terpadu dari pencapaian pendidikan siswa.
- b. Tinjauan literatur sistematis yang menawarkan gambaran umum tentang keadaan terkini terkait dengan *blockchain* dalam Pendidikan.
- c. Tinjauan ini mengkategorikan publikasi individu ke dalam skenario penggunaan yang berbeda untuk *blockchain* dalam pendidikan, seperti penerbitan sertifikat dan manajemen hasil akademik, catatan lintasan pembelajaran, manajemen sertifikat untuk penilaian kinerja selama perekrutan, kompetensi dan pendidikan yang didukung *blockchain*, sumber daya pendidikan, transfer token, dan mengevaluasi institusi akademik. Ulasan ini mengutip beberapa artikel jurnal terkait, termasuk "*Blockchain for Education : Paspur Pembelajaran Seumur Hidup*," "Pendidikan tanpa kepercayaan? Sistem *blockchain* untuk nilai universitas," dan "Apakah Pendidikan Berbasis Kompetensi dengan *Blockchain* Menandakan Misi Baru untuk Universitas?".
- d. Makalah yang menantang model lama institusi akademik dan mengeksplorasi potensi pendidikan *blockchain*.
- e. Penelitian dan penerapan kontrak pintar berdasarkan *blockchain Ethereum*.

- f. Sebuah artikel yang mengeksplorasi janji dan tantangan *blockchain* dalam pendidikan dan mengacu pada laporan dan penelitian yang masih ada oleh mereka yang ingin memanfaatkan potensinya untuk Pendidikan.
- g. Sebuah artikel yang mengeksplorasi teknologi *blockchain* dan aplikasi potensialnya untuk pendidikan, termasuk perumusan seluruh transkrip dan penyimpanan serta akses data yang aman pada jaringan *blockchain*.

Indikator-indikator ini menunjukkan bahwa ada minat yang meningkat dalam penggunaan teknologi *blockchain* dalam bidang pendidikan, dan bahwa para peneliti mengeksplorasi potensi aplikasinya di berbagai bidang, seperti verifikasi pencapaian siswa, manajemen sertifikat, dan catatan lintasan pembelajaran [18]. Dalam penelitian ini terdapat indikator-indikator yang nantinya akan digunakan dalam melakukan *fuzzy* untuk pendekatan *platform* mana yang cocok untuk penerapannya dalam Pendidikan. Berikut adalah indikator yang dapat dievaluasi untuk menganalisis *blockchain* dalam konteks penggunaannya dalam Pendidikan yang terbagi menjadi dua kategori[19].

a. *Smart Contracts*

Ethereum memiliki kemampuan untuk membuat dan menjalankan *smart contracts*, yang memungkinkan otomatisasi proses di dunia pendidikan seperti pembayaran beasiswa, kontrak antara guru dan siswa, dan validasi sertifikat.

b. *Decentralized Applications(DApps)*

Ethereum mendukung pengembangan *DApps*, yang dapat digunakan untuk membangun aplikasi pendidikan terdesentralisasi, seperti *platform e-learning* dan repositori digital.

2. *Hyperledger Fabric*

Blockchain Hyperledger Fabric adalah salah satu proyek dalam konsorsium *Hyperledger* yang dikembangkan untuk memfasilitasi pengembangan dan implementasi jaringan *blockchain* yang terotorisasi dan modular. *Hyperledger Fabric* merupakan *platform blockchain* sumber terbuka, yang dikelola oleh *Linux Foundation*. Ini adalah proyek payung dengan beberapa kerangka kerja dan

protokol. *Hyperledger* adalah *blockchain* berizin yang mempercepat kolaborasi di seluruh industri untuk pengembangan kerangka kerja berbasis teknologi buku besar terdistribusi yang berkinerja tinggi dan andal. Ini dapat digunakan di banyak industri untuk peningkatan operasional dan saat ini merupakan *platform* paling umum untuk bisnis B2B. *Hyperledger* mendukung model akun dan keluaran transaksi yang tidak terpakai (UTXO) untuk kontrak cerdas. *Platform* tidak memiliki *cryptocurrency* bawaan [20]. *Hyperledger Fabric* telah digunakan dalam berbagai industri, termasuk keuangan, kesehatan, dan logistik. Kelebihan dalam privasi, kontrol akses, dan modularitas menjadikannya pilihan yang menarik untuk aplikasi *blockchain* yang dapat diterapkan dalam bidang pendidikan dan industri lainnya. Menurut [21] Berikut adalah beberapa poin kunci tentang *Hyperledger Fabric*.

a. Model Konsensus Fleksibel

Hyperledger Fabric mendukung berbagai model konsensus, termasuk *Practical Byzantine Fault Tolerance* (PBFT) dan *Kafka-based consensus*. Kebebasan memilih model konsensus memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan keamanan dan kinerja jaringan sesuai dengan kebutuhan mereka.

b. *Private and Permissioned Network*

Fabric memungkinkan pembentukan jaringan terotorisasi di mana hanya pihak-pihak tertentu yang diizinkan untuk berpartisipasi. Ini sangat penting dalam kasus penggunaan seperti dunia pendidikan di mana akses ke data harus dikendalikan dengan ketat.

c. *Modular Architecture*

Hyperledger Fabric dirancang dengan arsitektur modular yang memungkinkan pengguna untuk memilih komponen mana yang ingin mereka gunakan. Ini memberikan fleksibilitas dalam pengembangan aplikasi berbasis *blockchain* dan memungkinkan integrasi yang lebih mudah dengan sistem yang sudah ada.

d. *High Performance and Scalability*

Hyperledger Fabric dirancang untuk memberikan kinerja tinggi dan skalabilitas yang baik. Dengan memisahkan transaksi pembacaan dan penulisan, *Fabric* dapat mengelola volume transaksi yang besar dengan efisien.

e. *Data Privacy and Confidentiality*

Platform ini menyediakan model privasi yang kuat, memungkinkan data transaksi dan keanggotaan untuk tetap pribadi di antara pihak-pihak yang berpartisipasi. Ini sangat penting dalam kasus penggunaan di dunia pendidikan di mana data pribadi siswa harus dijaga dengan ketat.

f. *Rich Query Support*

Fabric mendukung *query* data yang kompleks, memungkinkan aplikasi untuk mengambil data dengan cepat dan efisien dari *ledger blockchain*.

g. *Enterprise-Grade Tooling and Support*

Konsorsium Hyperledger menyediakan dukungan dan alat pengembangan yang kaya, membuatnya lebih mudah bagi perusahaan dan organisasi untuk mengadopsi dan mengimplementasikan *Hyperledger Fabric*.

3. *NEO*

NEO adalah *platform blockchain* yang dirancang untuk jaringan berizin yang dapat diskalakan. *NEO* menggunakan algoritma konsensus *Byzantine Fault Tolerance* (dBFT) yang didelegasikan, yang menghadirkan skalabilitas dan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan mekanisme konsensus lainnya. Dalam sistem *NEO SmartContract*, pengembang dapat memprogram *smart contract* di *Go*, *Java*, *Python*, *C#* atau bahasa pemrograman tingkat tinggi lainnya. Penerapan teknologi *blockchain*, termasuk *platform* seperti *NEO*, memiliki potensi besar dalam dunia Pendidikan. *NEO* memungkinkan penciptaan aset digital, termasuk sertifikat dan transkrip akademik. Dengan menggunakan *NEO*, lembaga pendidikan dapat menghasilkan sertifikat digital yang aman dan terverifikasi, mengurangi potensi pemalsuan dan memberikan kepercayaan kepada pihak-pihak yang memerlukan verifikasi akademik. Kemudian dalam proyek-proyek penelitian akademik, penggunaan kontrak pintar *NEO* dapat membantu mendukung sistem pengelolaan

dana penelitian, transparansi dalam penggunaan dana, dan pelaporan otomatis terkait hasil penelitian. Bahkan Pengembang dapat menggunakan *NEO* untuk membangun aplikasi pendidikan terdesentralisasi seperti *platform e-learning*, sistem *voting* akademik, atau bahkan sistem manajemen kelas yang mengutamakan privasi dan keamanan data siswa [22]. Dalam pemaparan tersebut mengindikasikan bahwa Platform Blockchain NEO dapat diukur keefektifitasnya untuk dapat diterapkan dalam bidang Pendidikan.

4. *Quorum*

Quorum adalah *platform blockchain* yang dikembangkan oleh *JPMorgan Chase*, dirancang khusus untuk kebutuhan bisnis dan institusi keuangan. Dalam dunia pendidikan, *Quorum* dapat memiliki beberapa implementasi yang berguna. Diantaranya dalam sertifikat dan transkrip digital *Quorum* dapat digunakan untuk menciptakan sertifikat digital dan transkrip akademik yang aman dan terverifikasi. Ini membantu mengurangi pemalsuan dokumen dan memberikan kepercayaan kepada pihak-pihak yang memerlukan verifikasi akademik. Dan jika dari pembayaran dan pengelolaan dana melalui kontrak pintar *Quorum*, institusi pendidikan dapat memfasilitasi pembayaran biaya sekolah, memberikan beasiswa, atau mengelola dana penelitian secara otomatis dan transparan. Sistem ini memastikan transparansi dan akurasi dalam pengelolaan keuangan Pendidikan [23]. *Quorum* juga menawarkan solusi privasi yang kuat melalui teknologi ZK-SNARKs (*Zero-Knowledge Succinct Non-Interactive Arguments of Knowledge*). Dalam konteks pendidikan, ini memastikan bahwa data siswa yang sensitif, seperti nilai dan informasi pribadi, tetap terlindungi sambil memungkinkan otoritas pendidikan memvalidasi informasi tersebut [24]. Penggunaan *platform Quorum* dalam institusi pendidikan dapat menghadirkan keamanan, privasi, dan transparansi ke dalam berbagai aspek operasional mereka, memastikan bahwa data siswa aman dan dapat dipercaya sambil memfasilitasi proses administrasi yang lebih efisien dan responsif. [25]

5. *Stellar*

Stellar adalah *platform blockchain* yang dirancang untuk memfasilitasi transfer nilai dan pembayaran lintas batas dengan biaya rendah dan cepat. Meskipun *Stellar* tidak sepopuler *Ethereum* atau *Bitcoin*, namun memiliki potensi besar dalam implementasinya jika diterapkan dalam bidang Pendidikan [15]. Terdapat beberapa cara dimana *Stellar* dapat digunakan dalam bidang Pendidikan. Diantaranya pembayaran internasional dan pengelolaan biaya studi seperti mahasiswa internasional seringkali menghadapi tantangan pembayaran biaya pendidikan melalui sistem keuangan lintas batas yang mahal dan lambat. *Stellar* memungkinkan pembayaran lintas mata uang dengan biaya rendah dan transaksi yang cepat, membantu mahasiswa membayar biaya pendidikan mereka dengan lebih efisien. Selain itu Institusi pendidikan dapat menggunakan *Stellar* untuk membuat token khusus yang mewakili beasiswa, penghargaan akademik, atau keikutsertaan dalam program-program tertentu. Mahasiswa dapat memperdagangkan atau menggunakan token ini sesuai kebutuhan mereka, memperluas fleksibilitas dalam pengelolaan aset mereka. *Stellar* dapat digunakan untuk membayar biaya pelatihan pendidik dan pengembangan profesional secara internasional. Pembayaran yang cepat dan biaya transaksi rendah membuatnya efisien, terutama dalam skenario pelatihan global [25]. Penerapan *Stellar* dalam dunia pendidikan membawa kecepatan, keamanan, dan biaya rendah ke dalam transaksi dan pembayaran, mengurangi kompleksitas proses keuangan institusi pendidikan dan memberikan lebih banyak kontrol kepada siswa, guru, dan institusi dalam pengelolaan aset dan transaksi mereka [26].

C. **Multi-Kriteria Fuzzy**

MCDM atau *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) merupakan pendekatan atau metode dalam pengambilan keputusan berdasarkan alternatif/opsi solusi dari multi kriteria. Pada dasarnya MCDM merupakan bagian dari bidang keilmuan riset operasi. Fokus bahasanya mencakup aspek kualitatif dan kuantitatif [1]. *Multicriteria Decision Making Methods* (MCDM) adalah sebuah metode yang mengacu pada proses *screening*, *prioritizing*, *ranking*, atau memilih set alternatif (dalam hal ini dapat berupa “*candidate*” atau “*action*”) dengan kriteria yang bersifat

independent, incommensurate atau *conflicting*. MCDM sangat tepat untuk diimplementasikan pada kasus semua alternatif memiliki sejumlah kriteria yang masing-masing memiliki nilai nominal dan masing-masing kriteria memiliki bobot yang dapat dimanfaatkan sebagai sarana perbandingan. MCDM berasumsi bahwa *rating* alternatif dan bobot dari *criteria* bersifat *crisp*. Namun tidak semua kasus memenuhi asumsi tersebut, sehingga pemikiran MCDM kurang tepat dan diperlukan sejumlah pemikiran baru [27].

FMCDM memiliki proses langkah-langkah penyelesaian tiga langkah dalam proses FMCDM yang harus dilakukan : representasi masalah, evaluasi himpunan *fuzzy* pada setiap alternatif keputusan, dan melakukan seleksi terhadap alternatif yang optimal. Berikut adalah ketiga langkah tersebut.

1. Representasi Masalah

Pada bagian ini ada 3 aktivitas yang harus dilakukan, yaitu :

- a. Identifikasi Tujuan dan kumpulan alternative keputusannya; Tujuan keputusan dapat direpresentasikan dengan menggunakan bahasa alami atau nilai numeris sesuai dengan karakteristik dari masalah tersebut. Jika ada n alternative keputusan dari masalah, maka alternatif-alternatif keputusan dari suatu masalah, maka alternative-alternatif tersebut dapat ditulis sebagai $A = \{A_i \mid i=1,2,\dots,n\}$
- b. Identifikasi kumpulan kriteria; Jika k kriteria, maka dapat dituliskan $C = \{C_t \mid t=1,2,\dots,k\}$.
- c. Membangun struktur hirarki dari masalah tersebut berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu.

2. Evaluasi Himpunan *Fuzzy*

Pada bagian ini, ada 3 aktivitas yang harus dilakukan, yaitu :

- a. Memilih himpunan *rating* untuk bobot kriteria, derajat kecocokan setiap alternatif dengan kriterianya. Secara umum, himpunan-himpunan *rating* terdiri atas 3 elemen, yaitu : variable linguistik (x) yang merepresentasikan bobot kriteria, dan derajat kecocokan setiap alternatif dengan kriterianya ;

$T(x)$ yang merepresentasikan *rating* dari variabel linguistik; dan fungsi keanggotaan yang berhubungan dengan setiap elemen dari $T(x)$.

Misal, *rating* untuk bobot pada Variabel Penting untuk suatu kriteria didefinisikan sebagai: $T(\text{penting}) = \{\text{SANGAT RENDAH, RENDAH, CUKUP, TINGGI, SANGAT TINGGI}\}$. Sesudah himpunan *rating* ini ditentukan, maka kita harus menentukan fungsi keanggotaan untuk setiap *rating*. Biasanya digunakan fungsi segitiga. Misal, W_t adalah bobot untuk kriteria C_t ; dan S_{it} adalah *rating fuzzy* untuk derajat kecocokan alternatif keputusan A_i dengan kriteria C_t ; dan F_i adalah indeks kecocokan *fuzzy* dari alternatif A_i yang merepresentasikan derajat kecocokan alternatif keputusan dengan kriteria. Keputusan yang diperoleh dari hasil agregasi S_{it} dan W_t .

- b. Mengevaluasi bobot-bobot kriteria, dan derajat kecocokan setiap alternatif dengan kriterianya.
- c. Mengagregasikan bobot-bobot kriteria, dan derajat kecocokan setiap alternatif dengan kriterianya. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan agregasi terhadap hasil keputusan para pengambil keputusan, antara lain : *mean, median, max, min*, dan operator campuran. Dari beberapa metode tersebut, metode *mean* yang paling banyak digunakan. Operator $+$ dan \times adalah operator yang digunakan untuk penjumlahan dan perkalian *fuzzy*. Dengan menggunakan operator *mean*, F_i dirumuskan sebagai :

$$F_t = \left(\frac{1}{k}\right) [(S_{t1} + W_1) + (S_{t2} + W_2) + (S_{tk} + W_k)]$$

Dengan cara mensubstitusikan S_{it} dan W_t dengan bilangan *fuzzy* segitiga, yaitu $S_{it} = (o_{it}, p_{it}, q_{it})$; dan $W_{it} = (a_t, b_t, c_t)$; maka F_t dapat didekati sebagai :

$$F_t = (Y_i + Q_i + Z_i)$$

Dengan :

$$Y_i = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{t=1}^k (o_{it}, a_i)$$

$$Q_i = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{t=1}^k (p_{it}, b_i)$$

$$Z_i = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{t=1}^k (q_{it}, c_i)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

3. Seleksi Alternatif yang Optimal

Pada bagian ini, ada 2 aktivitas yang dilakukan, yaitu :

- a. Memprioritaskan alternatif keputusan berdasarkan hasil agregasi. Prioritas dari hasil agregasi dibutuhkan dalam rangka proses perankingan alternatif keputusan. Karena hasil agregasi ini direpresentasikan dengan menggunakan bilangan *fuzzy* segitiga, maka dibutuhkan metode perankingan untuk bilangan *fuzzy* segitiga. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode nilai total integral. Misalkan F adalah bilangan *fuzzy* segitiga, $F = (a, b, c)$, maka nilai total integral dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Nilai α adalah indeks keoptimisan yang merepresentasikan derajat keoptimisan bagi pengambil keputusan ($0 \leq \alpha \leq 1$).

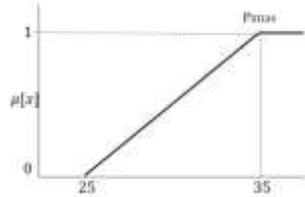
Apabila nilai α semakin besar mengindikasikan bahwa derajat keoptimisannya semakin besar.

- b. Memilih alternatif keputusan dengan prioritas tertinggi sebagai alternatif yang optimal. Semakin besar nilai F_i berarti kecocokan terbesar dari alternatif keputusan untuk kriteria keputusan, dan nilai inilah yang akan menjadi tujuannya.

Dalam perhitungan selanjutnya pada MCDM juga menggunakan fungsi keanggotaan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Terdapat tiga fungsi keanggotaan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu fungsi keanggotaan linier naik, fungsi keanggotaan linier turun dan fungsi keanggotaan trapesium.

1. Fungsi Keanggotaan Linier Naik

Himpunan *fuzzy* mempunyai dua bentuk fungsi keanggotaan linear, yang pertama fungsi keanggotaan linear naik dimulai dari derajat keanggotaan 0 ke kanan menuju 1.

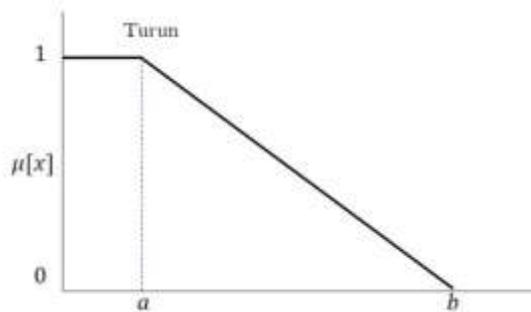


Rumus dalam fungsi keanggotaan linier naik adalah sebagai berikut.

$$\mu[x; a, b, c] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

2. Fungsi Keanggotaan Linier Turun

Himpunan *fuzzy* mempunyai dua bentuk fungsi keanggotaan linear, yang kedua fungsi keanggotaan linear turun dimulai dari derajat keanggotaan 1 ke kanan menuju 0.

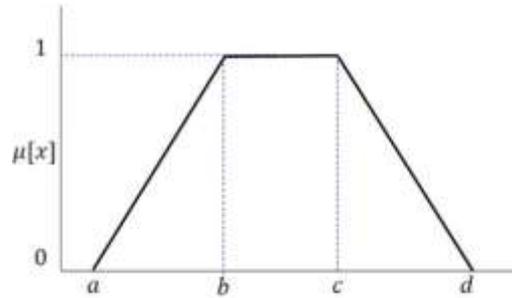


Rumus dalam fungsi keanggotaan linier naik adalah sebagai berikut.

$$\mu[x; a, b, c] = \begin{cases} 0, & x \geq b \\ \frac{b-x}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1, & x \leq a \end{cases}$$

3. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium merupakan pengembangan fungsi keanggotaan segitiga dengan beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan sama dengan 1. Fungsi keanggotaan trapesium ($x; a, b, c, d$)



Rumus dalam fungsi keanggotaan linier naik adalah sebagai berikut.

$$\mu[x; a, b, c] = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \end{cases}$$