

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka diambil dari beberapa penelitian sebelumnya yang terkait dengan UMKM, metode BMW, Entropy dan D numbers. Keberlanjutan UMKM menjadi fokus utama dalam konteks pembahasan ini karena peran krusial yang dimilikinya dalam pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan global. Model BWM memungkinkan identifikasi dan peringkat kriteria keberlanjutan yang paling relevan, sementara D numbers memberikan kerangka kerja untuk menangani ketidakpastian dan integrasi informasi yang kompleks. Integrasi kedua metode ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang keberlanjutan UMKM, membimbing kebijakan dan strategi yang lebih efektif, dan mendorong pertumbuhan bisnis yang berkelanjutan dan bertanggung jawab. Pembahasan eksplorasi teori, penelitian terkait, dan aplikasi praktis yang membahas tentang konsep, keunggulan, dan integrasi dari Model BWM dan D numbers, membuka jalan untuk pemahaman yang lebih mendalam dan penerapan yang tepat terkait keberlanjutan UMKM.

Penelitian sebelumnya dari (Asadi et al., 2023) mengeksplorasi adopsi *blockchain* pada usaha kecil dan menengah (UKM), mengidentifikasi faktor kunci dan motivasi untuk penerapannya. Hal ini menekankan perlunya UKM untuk secara hati-hati menilai keadaan unik mereka ketika mempertimbangkan adopsi *blockchain*. Penelitian berikutnya dari (Armenia et al., 2021) memperkenalkan SMECRA, sebuah metodologi penilaian risiko keamanan siber yang dinamis, yang menjawab tantangan keamanan siber UKM. SMECRA terbukti meningkatkan penilaian dan kesadaran risiko, sehingga bermanfaat bagi UKM dan perusahaan asuransi. Penelitian lain dari (Teerasoponpong & Sopadang, 2022) menyajikan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) untuk pengadaan dan manajemen inventaris di UKM, yang menunjukkan pengurangan biaya yang signifikan dan peningkatan pengambilan keputusan dalam aplikasi dunia nyata. Penelitian berikutnya dari (Yin et al., 2020) mengusulkan untuk memanfaatkan penilaian hukum untuk

mengevaluasi risiko kredit di UKM, menunjukkan bahwa mengintegrasikan fitur penilaian hukum secara signifikan meningkatkan penilaian risiko kredit dibandingkan dengan model tradisional. Pendekatan ini membantu mengurangi asimetri informasi dalam keputusan pemberian kredit UKM. Penelitian lain dari (Gaitero et al., 2021) menyoroti keefektifan metode *SevenWeeks* dalam mempercepat proses sertifikasi ISO (*International Organization for Standardization*) untuk UKM Spanyol, menawarkan solusi yang lincah dan hemat biaya. Penelitian (Hakim et al., 2025) menekankan pentingnya pengelolaan data deret waktu tak pasti melalui integrasi metode prediktif dan kecerdasan buatan dalam UKM yang dinamis. Istilah *Small and Medium Enterprises* (SMEs) secara umum digunakan di banyak negara untuk merujuk pada unit usaha kecil dan menengah, tanpa secara eksplisit mengakui klasifikasi usaha mikro seperti di Indonesia. Di banyak negara maju, klasifikasi UKM biasanya dibedakan berdasarkan jumlah karyawan (misalnya <50 orang untuk small enterprise, dan 50–250 orang untuk medium enterprise), omzet, atau total aset, dan hal ini bervariasi tergantung pada regulasi nasional masing-masing. Tidak adanya pengakuan formal terhadap usaha mikro dalam sistem SME internasional menjadikan pendekatan Indonesia terhadap UMKM memiliki karakteristik tersendiri, terutama dalam menjangkau pelaku usaha di sektor informal dan berbasis komunitas.

Dinamika transformasi digital pada UMKM menjadi perhatian utama dalam kajian lokal terkini. Penelitian oleh (Febriani et al., 2025) menyoroti pentingnya kapabilitas dinamis seperti sensing, seizing, dan transforming dalam mendukung transformasi omnichannel UMKM sektor kreatif. Konteks ketahanan finansial juga diangkat oleh (Wiraguna et al., 2024) melalui penyusunan dataset yang menunjukkan dampak sekuritisasi pinjaman UMKM terhadap stabilitas bank. Walaupun studi dilakukan di Eropa, temuan tersebut memberikan wawasan penting dalam merancang sistem pembiayaan alternatif yang lebih inklusif bagi UMKM di Indonesia. Di Indonesia, UMKM secara resmi didefinisikan melalui Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2008. Usaha mikro memiliki kekayaan bersih maksimal Rp50 juta dan omzet tahunan hingga Rp300 juta, usaha kecil memiliki kekayaan bersih antara Rp50 juta hingga Rp500 juta dengan omzet

hingga Rp2,5 miliar, dan usaha menengah memiliki aset antara Rp500 juta hingga Rp10 miliar dengan omzet tahunan maksimal Rp50 miliar. Jenis usaha mikro mencakup pedagang kaki lima, warung kelontong, atau jasa potong rambut sederhana. Usaha kecil dapat berupa toko grosir lokal, pengusaha konveksi rumahan, atau warung makan dengan karyawan tetap. Sementara itu, usaha menengah dapat berupa industri pengolahan makanan regional, percetakan menengah, atau distributor produk dengan jangkauan antar kota. Klasifikasi ini mencerminkan karakteristik ekonomi riil di Indonesia dan lebih inklusif dalam mengakomodasi pelaku usaha kecil berbasis rumah tangga, berbeda dengan sistem klasifikasi SME di luar negeri. Oleh karena itu, penelitian dan kebijakan keberlanjutan di Indonesia perlu disesuaikan dengan keberagaman karakteristik UMKM, termasuk kerentanannya terhadap perubahan regulasi, teknologi, dan akses pasar.

Isu keberlanjutan dan resiliensi jangka panjang UMKM turut diperkuat melalui berbagai pendekatan strategis. (Samputra & Alfarizi, 2025) menunjukkan bahwa penerapan teknologi Society 5.0 mampu menciptakan nilai ekonomi dan sosial, khususnya bagi pelaku UMKM dari generasi milenial dan Gen Z. Integrasi antara teknologi dan nilai sosial dalam model bisnis dinilai penting dalam menghadapi tantangan masa depan. Penelitian oleh (Yunus et al., 2025) dan (Mulchandani et al., 2023) menegaskan bahwa orkestrasi sumber daya, diversifikasi usaha, dan inovasi berkelanjutan merupakan faktor kunci pertumbuhan UMKM pascakrisis. Sementara itu, Kulkarni (Kulkarni et al., 2024) menekankan bahwa kesiapan teknologi kecerdasan buatan (*AI readiness*) berkontribusi langsung terhadap praktik bisnis yang etis dan berkelanjutan secara sosial. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya adopsi teknologi yang bertanggung jawab sebagai landasan dalam transformasi bisnis berbasis keberlanjutan.

Penelitian menggunakan metode BWM dari (Ahmad et al., 2021) menjawab tantangan manajemen pandemi dengan memanfaatkan Metode Terbaik-Buruk Kelompok (Group *Best-Worst Method*, GBWM) untuk memprioritaskan strategi berdasarkan masukan dari para pemangku kepentingan. Hasilnya menekankan kemampuan beradaptasi dalam menanggapi dinamika pandemi yang terus

berkembang. Penelitian berikutnya dari (H. Zhang et al., 2023) memperkenalkan model granulasi informasi linguistik menggunakan BWM untuk meningkatkan pengambilan keputusan. Merepresentasikan istilah linguistik sebagai interval dan menerapkan *Particle Swarm Optimization* (PSO), model ini meminimalkan ketidakkonsistenan penilaian. Berikutnya dari (X. Ma et al., 2023) memperkenalkan model perincian informasi linguistik menggunakan BWM untuk meminimalkan ketidakkonsistenan dalam proses pengambilan keputusan. Model ini menerapkan perincian informasi dan PSO, yang menunjukkan peningkatan dalam pengambilan keputusan melalui contoh dan studi kasus. Penelitian berikutnya oleh (Omrani et al., 2021) menggabungkan Metode Terbaik Terburuk (BWM) dan *Robust DEA* (RDEA) untuk mengatasi keterbatasan dalam metode *Data Envelopment Analysis* (DEA) tradisional. Model multi-objektif ini menggabungkan preferensi data mining dan mengatasi ketidakpastian data, sehingga menawarkan nilai efisiensi yang lebih andal. Penelitian berikutnya oleh (Gong dkk., 2021) berfokus pada pemilihan situs *web e-learning* untuk pengajaran dalam jaringan selama pandemi COVID-19. Memperkenalkan pendekatan *linguistic hesitant fuzzy TODIM* (LHF-TODIM), yang meningkatkan pemilihan situs web di lingkungan linguistik yang tidak pasti, menunjukkan kepraktisan dan keefektifannya melalui studi kasus. Pendekatan sistem pakar berbasis hybrid yang dikembangkan oleh (Isnanto et al., 2023) juga memperkuat argumen perlunya integrasi metode berbasis pengetahuan dan pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi pengambilan keputusan dalam sistem evaluasi kompleks.

Penelitian dengan menggunakan D numbers yang dilakukan oleh (Pamučar et al., 2021) berfokus pada peningkatan pengelolaan limbah kesehatan (HCW) dengan menggunakan model pengambilan keputusan multikriteria berdasarkan angka D. Penelitian ini mengevaluasi enam solusi di berbagai kriteria, dengan alternatif A1 memiliki kinerja terbaik dan A5 terburuk, untuk memastikan keefektifannya. Penelitian berikutnya dari (P. Liu et al., 2021) memperkenalkan D numbers untuk meningkatkan pengambilan keputusan di bawah ketidakpastian, yang menunjukkan kepraktisannya dengan mengevaluasi kinerja lingkungan di wilayah administratif Tiongkok. Penelitian berikutnya dari (Seiti et al., 2019) membahas perencanaan

pemeliharaan preventif, memperkenalkan metode D-FAD, perpaduan antara desain aksiomatik *fuzzy* dan bilangan D, yang secara efektif menangani keandalan peralatan, risiko, dan kesalahan dalam kasus pabrik baja yang sebenarnya. Penelitian berikutnya oleh (Lai & Liao, 2021) membahas kebutuhan untuk mengevaluasi platform *blockchain* dalam aplikasi bisnis. Penelitian ini memperkenalkan sebuah solusi menggunakan linguistic D numbers (LDNs), metode DNMA, dan CRITIC untuk menangani tantangan seperti ketidakpastian informasi dan kriteria yang beragam. Pendekatan ini meningkatkan LDN, menangkap informasi yang tidak pasti, dan mengurangi kehilangan data. Studi ini memvalidasi efisiensinya dalam evaluasi *platform blockchain* numerik yang menunjukkan keefektifannya dalam mengidentifikasi kriteria penting. Penelitian berikutnya dari (Xu et al., 2022) menangani tugas kompleks dalam pemilihan turbin angin lepas pantai, dengan menggunakan angka D dan PCA untuk mengurangi subjektivitas pakar. Keberhasilan model ini dikonfirmasi melalui studi kasus dunia nyata, yang menyoroti keefektifannya dalam pengambilan keputusan. Sementara itu, (Ferdiansyah et al., 2023) mengembangkan pendekatan prediktif dengan menggabungkan metode deret waktu musiman dan model stokastik *brownian motion*, yang relevan untuk konteks UMKM yang dihadapkan pada fluktuasi lingkungan bisnis yang dinamis dan penuh ketidakpastian.

Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkaji penelitian terdahulu yang berkaitan dengan evaluasi keberlanjutan UMKM menggunakan pendekatan pengambilan keputusan multikriteria (MCDM). Fokus utama diarahkan pada studi-studi yang menerapkan metode BWM, Entropy, dan D numbers, baik secara terpisah maupun terintegrasi, dalam berbagai konteks pengambilan keputusan yang melibatkan ketidakpastian, kompleksitas, dan keterbatasan informasi. Pendekatan-pendekatan ini dipilih karena memiliki keunggulan dalam menangkap bobot preferensi yang lebih stabil (BWM), memperhatikan objektivitas data (Entropy), serta mampu merepresentasikan ketidakpastian dan ketidaktelitian (D numbers), yang relevan dengan kondisi nyata yang dihadapi oleh UMKM, khususnya di negara berkembang.

Selain itu, ditinjau pula penelitian yang mendukung penerapan MCDM dalam konteks UKM dan teknologi digital, termasuk studi-studi yang mengaitkan keberlanjutan dengan transformasi digital, adaptasi terhadap pasar, serta respon terhadap tantangan ekonomi lokal. Pemahaman terhadap karya-karya terdahulu ini menjadi penting untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian, memperkuat rasionalisasi pemilihan metode, dan membentuk landasan teoritik yang solid. Tabel 2.1 merangkum salah satu studi kunci yang digunakan sebagai pijakan dalam penyusunan kerangka teoritik dan metodologi dalam penelitian ini, yang selanjutnya dikembangkan dalam kerangka BED sebagai solusi integratif terhadap tantangan evaluasi keberlanjutan UMKM secara lebih adaptif dan kontekstual.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers.

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>The appropriation of blockchain implementation in the supply chain of SMES based on fuzzy LMAW</i> (Asadi et al., 2023)	Mengadopsi teknologi <i>blockchain</i> dalam rantai pasokan usaha kecil dan menengah (UKM), dengan mengenali potensi manfaat dan keterbatasannya. Mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi adopsi <i>blockchain</i> , menawarkan wawasan bagi UKM dan pembuat kebijakan.	Menggunakan kerangka kerja Teknologi-Organisasi-Lingkungan untuk mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi adopsi <i>blockchain</i> di UKM. Daftar awal 42 faktor disempurnakan dengan pendekatan Delphi, menghasilkan 22 faktor penting dengan preferensi para ahli menggunakan Metodologi Fuzzy Logaritmik Additive Weights (FLAW).	Penelitian ini mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi adopsi <i>blockchain</i> dalam rantai pasokan UKM menggunakan kerangka TOE, dengan pendekatan Delphi untuk menyaring 42 faktor menjadi 22 faktor utama. Metodologi FLAW digunakan untuk memprioritaskan faktor secara objektif berdasarkan pendapat ahli.	keterbatasan jumlah ahli (hanya 5) dapat memengaruhi kredibilitas hasil. Selain itu, ketiadaan studi kasus nyata dan tidak dianalisisnya keterkaitan antar faktor menyebabkan potensi hilangnya wawasan penting.	Penelitian ini menawarkan analisis komprehensif tentang adopsi <i>blockchain</i> dalam rantai pasokan UKM. Para pembuat kebijakan dan pemilik UKM dapat menarik wawasan berharga dari temuan ini untuk membuat keputusan yang tepat.
<i>A dynamic simulation approach to support the evaluation of cyber risks and security investments in SMEs</i> (Armenia et al., 2021)	Studi ini bertujuan untuk menjawab kebutuhan akan model yang dapat diadaptasi untuk mengevaluasi risiko dan investasi keamanan siber, terutama yang berfokus pada usaha kecil dan menengah (UKM).	Menggunakan metodologi dinamika sistem yang disebut SMECRA untuk mendukung keputusan investasi keamanan siber. Metodologi ini menilai risiko siber dan perubahan dinamisnya dari waktu ke waktu, menyediakan alat praktis bagi UKM.	Eksplorasi komprehensif aspek keamanan siber, yang mencakup infrastruktur, organisasi pertahanan, dan identifikasi teknologi pertahanan. Memberikan wawasan berharga tentang dampak investasi keamanan siber, dengan menekankan keuntungan seperti mendapatkan pangsa pasar. Memperkenalkan alat praktis untuk menganalisis postur siber UKM dan mensimulasikan efek dari berbagai strategi investasi.	Penelitian ini berfokus pada perusahaan besar dan infrastruktur penting, namun mengabaikan serangan siber yang terus meningkat pada UMKM. Meskipun membahas dampak investasi keamanan siber, namun tidak ada eksplorasi terperinci mengenai jenis investasi tertentu dan efektivitasnya dalam berbagai skenario.	Studi ini membahas keterbatasan kerangka kerja manajemen risiko keamanan siber yang ada dengan menyediakan pendekatan dinamis, terutama bermanfaat bagi UKM yang tidak memiliki keahlian dan sumber daya keamanan siber.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers (*lanjutan*).

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>Decision support system for adaptive sourcing and inventory management in small- and medium-sized enterprises</i> (Teerasoponpong & Sopadang, 2022)	Mengusulkan sistem pendukung keputusan (DSS) yang membantu UKM mengumpulkan dan memanfaatkan data sekaligus mendukung pengambilan keputusan mereka dalam lingkungan bisnis yang tidak pasti.	DSS ini dikembangkan melalui pendekatan simulasi-optimalisasi dengan jaringan saraf tiruan dan algoritma genetik, menggunakan data empiris untuk mengurangi beban kompilasi. Sistem mempertimbangkan ketidakpastian seperti permintaan, harga, dan waktu tunggu pasokan.	Memanfaatkan data yang ada di UKM tanpa memerlukan keahlian pemodelan yang rumit. Adaptif terhadap data input baru dan dapat diterapkan pada masalah inventaris lainnya. Mengungguli metode pembelajaran mesin lainnya pada masalah yang diberikan.	Membutuhkan data yang signifikan untuk pelatihan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN). Interpretasi solusi mungkin sulit dilakukan tanpa pengetahuan teknis. Hanya mempertimbangkan biaya dan tidak memodelkan faktor lain seperti kualitas.	Menghadirkan sistem pendukung keputusan adaptif berbasis kombinasi simulasi-optimalisasi, yang mampu menangani ketidakpastian dalam manajemen inventori UKM melalui pemanfaatan data aktual dan pendekatan ANN.
<i>System quality and security certification in seven weeks: A multi-case study in Spanish SMEs</i> (Gaitero et al., 2021)	Meneliti metode inovatif yang disebut " <i>SevenWeeks</i> " yang dikembangkan oleh Proceso Social untuk membantu UKM Spanyol menciptakan atau meningkatkan sistem manajemen kualitas dan keamanan mereka secara efisien, dengan tujuan memperoleh sertifikasi ISO 9001 dan ISO/IEC 27001.	Penelitian ini melakukan studi multi kasus yang melibatkan 26 perusahaan Spanyol. Sumber bukti independen digunakan untuk menilai efektivitas dan kegunaan metode <i>SevenWeeks</i> dalam memungkinkan perusahaan membangun sistem manajemen kualitas dan keamanan serta meraih sertifikasi ISO.	Kelebihan dari penelitian ini terletak pada bukti empiris yang menunjukkan keefektifan metode <i>SevenWeeks</i> dalam membantu UKM Spanyol memperoleh sertifikasi ISO secara efisien. Metode ini diterima dengan baik, dengan peringkat kepuasan yang tinggi, dan metodologi penelitian ini kuat, dengan mempertimbangkan berbagai ancaman terhadap validitas untuk memastikan hasil yang dapat diandalkan.	Pelatihan lebih lanjut tentang alat dan keterlibatan yang lebih besar dari personel yang berpengaruh dapat meningkatkan implementasi <i>SevenWeeks</i> . Sistem manajemen kualitas/keamanan dapat lebih diotomatisasi dengan menggunakan alat bantu visual dan intuitif. Beberapa aspek proses seperti perencanaan kontinuitas dan manajemen risiko membutuhkan lebih banyak penekanan.	Metode <i>SevenWeeks</i> terbukti sangat bermanfaat bagi UKM yang ingin meningkatkan kualitas dan keamanan sistem mereka. Studi ini menggarisbawahi efisiensi, kemudahan penggunaan, dan efektivitas biaya dari metode ini, serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers (*lanjutan*).

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>Evaluating the credit risk of SMEs using legal judgments</i> (Yin et al., 2020)	Penelitian ini membahas tantangan dalam menilai risiko kredit usaha kecil dan menengah (UKM) yang dicirikan oleh asimetri informasi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan evaluasi risiko kredit dengan memasukkan informasi dari penilaian hukum, di samping data keuangan dan data spesifik perusahaan.	Mengusulkan sebuah kerangka kerja untuk mengidentifikasi penilaian hukum yang relevan untuk memprediksi risiko kredit dan mengekstrak fitur-fitur yang relevan. Penelitian ini menggabungkan fitur-fitur ini dengan informasi keuangan dan informasi spesifik perusahaan untuk meningkatkan penilaian risiko kredit. Evaluasi empiris dilakukan untuk membandingkan kinerja model dengan dan tanpa data penilaian hukum.	Penggunaan teks putusan yang inovatif untuk memprediksi risiko kredit dan bukti empiris yang mendukung efektivitas kerangka kerja tersebut. Metodologi yang digunakan sangat rinci, menggunakan teknik text mining dan metode klasifikasi untuk menilai dampak penilaian hukum terhadap prediksi risiko kredit.	Hanya sebagian kecil dari penilaian yang tersedia yang digunakan. Interaksi antara jumlah putusan dan jumlah pinjaman tidak diteliti. Data hanya berasal dari Tiongkok, perbedaan sistem hukum membatasi generalisasi. Potensi penipuan dan korupsi tidak dipertimbangkan.	Menyoroti potensi penggunaan pertimbangan hukum untuk mengurangi asimetri informasi dalam menilai risiko kredit UKM, yang pada akhirnya dapat meningkatkan akurasi dan efektivitas evaluasi kredit.
<i>Identification and prioritization of strategies to tackle COVID-19 outbreak: A group-BWM based MCDM approach</i> (Ahmad et al., 2021b)	Penelitian ini bertujuan untuk menjawab tantangan dalam pengambilan keputusan selama pandemi COVID-19 dengan menerapkan Metode Kelompok Terbaik-Buruk (MCDM) untuk menentukan peringkat dan memprioritaskan berbagai strategi dalam penanggulangan pandemi.	Metode Terbaik-Buruk digunakan untuk memeringkat 10 strategi penanggulangan COVID-19, mencakup aspek seperti jaga jarak, perawatan medis, dukungan keuangan, dan pengawasan digital. Penilaian dilakukan berdasarkan masukan dari berbagai pemangku kepentingan.	Penelitian ini menonjol karena proses penentuan prioritas yang transparan dan mempertimbangkan beragam preferensi pemangku kepentingan. Penggunaan metode Group BWM memungkinkan konsolidasi pendapat secara efisien dan menghasilkan pemeringkatan strategi yang representatif terhadap situasi krisis.	Penelitian ini dibatasi oleh ukuran sampel yang kecil dan tidak diikutsertakannya beberapa kelompok pemangku kepentingan yang relevan. Penelitian di masa depan dapat meningkatkan ketangguhan temuan dengan memperluas sampel dan memasukkan metode pengambilan keputusan dan faktor ketidakpastian tambahan.	Penelitian ini menawarkan pendekatan sistematis untuk memprioritaskan strategi dalam mengatasi tantangan yang ditimbulkan oleh pandemi COVID-19, dengan mempertimbangkan berbagai prioritas pemangku kepentingan dan sifat krisis yang terus berkembang.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers (*lanjutan*).

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>From Numerical to Heterogeneous Linguistic Best-Worst Method: Impacts of Personalized Individual Semantics on Consistency and Consensus</i> (H. Zhang et al., 2023)	Penelitian ini mengeksplorasi efek dari semantik individu yang dipersonalisasi (PIS) terhadap konsistensi dan konsensus dalam Metode Terbaik-Buruk (BWM) ketika berhadapan dengan informasi preferensi linguistik yang heterogen.	Memperkenalkan metode berbasis PIS untuk mengukur konsistensi dan mengubah informasi. Metode ini menganalisis informasi preferensi linguistik dari setiap pengambil keputusan dengan menggunakan skala numerik yang dipersonalisasi. Model optimasi konsensus untuk memaksimalkan konsensus antara hubungan preferensi aditif yang berasal dari informasi preferensi linguistik yang heterogen.	Memperkaya pemodelan preferensi dalam BWM dengan mengembangkan format linguistik yang heterogen, menganalisis dampak PIS, dan mengintegrasikan pencapaian konsensus. Kerangka kerja ini menangani masalah-masalah praktis seperti preferensi dan konflik pengambil keputusan yang berbeda.	Keterbatasannya adalah bahwa perilaku manipulasi strategis tidak dipertimbangkan, yang dapat diatasi dalam penelitian di masa depan. Selain itu, teknik pembelajaran preferensi dapat membantu menetapkan parameter dalam kerangka kerja.	Penelitian ini berfokus pada peningkatan konsistensi dan konsensus dalam metode terbaik-buruk melalui semantik individu yang dipersonalisasi saat menangani preferensi linguistik yang heterogen. Artikel ini menawarkan metodologi untuk menganalisis dan mengoptimalkan konsensus antar pengambil keputusan.
<i>A linguistic information granulation model based on best-worst method in decision making problems</i> (X. Ma et al., 2023)	Meningkatkan proses pengambilan keputusan dan meminimalisir ketidakkonsistenan dengan mengembangkan model granulasi informasi berdasarkan <i>Best Worst Method</i> (BWM) untuk merepresentasikan istilah-istilah linguistik dalam penilaian para pengambil keputusan.	Penelitian ini menggunakan granularitas informasi untuk mengembangkan butiran informasi yang mewakili istilah linguistik dalam bentuk interval dan interval type-2 fuzzy set (IT2FS) dalam kerangka kerja BWM. <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) digunakan sebagai kerangka kerja optimasi.	Mengembangkan model BWM granular dengan representasi linguistik berbasis interval dan IT2FS untuk meningkatkan fleksibilitas preferensi. Optimasi digunakan untuk meminimalkan ketidakkonsistenan, serta diperluas ke pengambilan keputusan kelompok. Model divalidasi melalui contoh numerik, studi kasus, dan dibandingkan dengan AHP granular.	Penelitian ini terbatas pada dua jenis butiran informasi dan belum mengeksplorasi alternatif seperti himpunan fuzzy. Optimasi PSO berisiko terjebak pada optima lokal, disarankan penggunaan metode lain seperti DE atau SA. Agregasi hanya menekankan konsistensi, mengabaikan pandangan minoritas, dan analisis komparatif masih terbatas model BWM granular.	Penelitian ini berfokus pada penanganan ketidakkonsistenan dalam penilaian linguistik para pengambil keputusan dan memberikan contoh-contoh praktis serta studi kasus untuk menunjukkan kegunaan metodologi tersebut.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers (*lanjutan*).

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>A novel best worst method robust data envelopment analysis: Incorporating decision makers' preferences in an uncertain environment</i> (Omrani et al., 2021)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model <i>Best Worst Method</i> (BWM) - <i>Robust DEA</i> (RDEA) multi-objektif untuk memasukkan preferensi DM ke dalam model DEA dalam lingkungan yang tidak pasti.	Studi ini memperkenalkan pendekatan baru, yang menggabungkan BWM dan RDEA, untuk mengatasi keterbatasan yang teridentifikasi. Penelitian ini menggunakan BWM untuk menggabungkan pendapat para ahli dan RDEA untuk memodelkan ketidakpastian data. Model BWM-RDEA dua tujuan diselesaikan dengan menggunakan teknik min-max.	Mengusulkan model BWM-RDEA dua tujuan yang menggabungkan preferensi pengambil keputusan dan menangani ketidakpastian data. Model ini mengintegrasikan BWM dengan RDEA untuk menentukan bobot input/output, diselesaikan menggunakan pendekatan min-max. Diuji pada 14 maskapai penerbangan Iran untuk mengevaluasi efisiensi dan memberikan wawasan praktis.	Penelitian ini tidak mencantumkan kriteria keuangan karena keterbatasan data. Model DEA berpotensi menghasilkan beberapa bobot optimal yang tidak dibahas. Kompleksitas meningkat seiring variabel dan ketidakpastian, berdampak pada efisiensi komputasi. Studi kasus hanya mencakup satu tahun, sehingga belum mencerminkan dinamika efisiensi jangka panjang.	Penelitian ini mengatasi keterbatasan DEA konvensional dalam menangani preferensi dan ketidakpastian data dengan mengusulkan model BWM-RDEA. Model diuji pada kasus maskapai Iran, meskipun jurnal dan tahun publikasi tidak disebutkan dalam abstrak.
<i>An integrated multi-criteria decision-making approach with linguistic hesitant fuzzy sets for E-learning website evaluation and selection</i> (Gong et al., 2021)	Mengembangkan metode praktis untuk mengevaluasi dan memilih situs web E-learning dalam konteks pengajaran dalam jaringan, dengan mempertimbangkan sifat evaluasi para ahli yang tidak tepat dan kabur.	Memperkenalkan pendekatan pengambilan keputusan multi-kriteria terintegrasi (MCDM) yang baru berdasarkan himpunan fuzzy linguistik (LHFS) dan metode TODIM. LHFS digunakan untuk menangani penilaian linguistik oleh para ahli, sedangkan metode BWM menentukan bobot kriteria. Metode TODIM yang diperluas memberi peringkat pada situs web e-learning.	Mengusulkan model LHF-TODIM yang menggabungkan fuzzy linguistik dan TODIM untuk mengevaluasi situs web e-learning secara fleksibel. Bobot ditentukan melalui perluasan BWM dengan penilaian ahli minimal, mempertimbangkan rasionalitas terbatas. Model divalidasi melalui studi kasus dan dibandingkan dengan metode lain untuk menilai efektivitasnya.	Penelitian ini hanya melibatkan kelompok ahli yang kecil; studi lanjutan disarankan untuk melibatkan kelompok yang lebih besar. Bobot pakar diasumsikan diketahui tanpa metode penentuan objektif. Kompleksitas komputasi juga meningkat dibandingkan metode lain karena adanya pertimbangan tambahan.	Studi ini membahas pentingnya memilih situs web E-learning yang tepat untuk pengajaran dalam jaringan, terutama selama pandemi COVID-19, dimana pengajaran dalam jaringan menjadi sangat penting. Studi ini menawarkan metodologi yang kuat untuk pengambilan keputusan di bawah ketidakpastian bahasa.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers (*lanjutan*).

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>A new intelligent MCDM model for HCW management: The integrated BWM–MABAC model based on D number</i> (Pamućar et al., 2021)	Membuat model pengambilan keputusan berbasis angka D dalam pengadaan fasilitas pengolahan limbah infeksius dalam pengelolaan limbah perawatan kesehatan, yang menekankan efektivitas biaya dan keberlanjutan.	Mengevaluasi enam solusi potensial dengan menggunakan 18 kriteria dalam kategori sosial, lingkungan, ekonomi, dan teknologi. Para ahli menilai kriteria, dan studi ini menerapkan metode BWM-D dan MABAC-D untuk seleksi. Analisis sensitivitas menggunakan TOPSIS-D dan VIKOR-D.	Mengembangkan metode MCDM baru yang mengintegrasikan BWM, MABAC, dan angka D untuk menangani ketidakpastian dalam pengelolaan limbah kesehatan. Metode diuji pada studi kasus pemilihan fasilitas desinfeksi, disertai analisis sensitivitas dan perbandingan dengan model lain untuk memastikan keandalan dan ketahanan hasil.	Evaluasi masih bergantung pada pendapat subjektif tanpa dukungan data objektif. Studi hanya mencakup satu kasus, sehingga generalisasinya terbatas. Tidak ada perbandingan dengan metode MCDM non-D, dan penjelasan teknis BWM-D serta MABAC-D kurang mendalam, menyulitkan pemahaman terhadap penanganan ketidakpastian.	Mendemonstrasikan aplikasi angka D praktis dalam pemilihan perangkat pengelolaan limbah perawatan kesehatan, yang menekankan evaluasi karakteristik perangkat secara menyeluruh untuk pengambilan keputusan yang efektif.
<i>A weighting model based on best–worst method and its application for environmental performance evaluation</i> (P. Liu et al., 2021)	Meningkatkan Proses Hirarki Analitik (AHP) dan Metode Terbaik-Buruk (BWM) dengan mengintegrasikan angka D untuk pengambilan keputusan yang tidak pasti, terutama dalam situasi dengan evaluasi ahli yang saling bertentangan atau tidak ada.	Penelitian ini memperkenalkan hubungan preferensi <i>fuzzy</i> yang diperluas dengan angka D (DNFPR) dan algoritma untuk memilih kriteria terbaik dan terburuk berdasarkan DNFPR. Model pemrograman linier dikembangkan untuk menentukan bobot kriteria, dan rasio konsistensi menilai keandalan hasil.	Penelitian ini mengusulkan model D-BWM yang menggabungkan metode terbaik-terburuk dengan angka D untuk menangani evaluasi ahli yang tidak lengkap atau bertentangan, dengan kebutuhan data yang lebih sedikit. Rasio konsistensi diperkenalkan untuk meningkatkan akurasi penilaian subjektif. Model diterapkan pada evaluasi kinerja lingkungan di 30 provinsi di Tiongkok sebagai studi kasus.	Penelitian ini kurang membahas revisi dinamis perbandingan berpasangan berdasarkan umpan balik ahli, sehingga membatasi interaksi. Ambang batas konsistensi 0,1 mungkin kurang fleksibel. Evaluasi terbatas pada data historis hingga 2015, sehingga tidak mencerminkan kondisi terkini, dan keterbatasan data menghambat analisis menyeluruh di seluruh wilayah Tiongkok.	Penelitian ini menyajikan sebuah pendekatan inovatif, yang menggabungkan angka D dengan BWM, untuk mengatasi ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Pendekatan ini ditampilkan melalui evaluasi kinerja lingkungan wilayah administrasi provinsi di Tiongkok.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers (*lanjutan*).

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>Developing a novel risk-based MCDM approach based on D numbers and fuzzy information axiom and its applications in preventive maintenance planning</i> (Seiti et al., 2019)	Penelitian ini bertujuan untuk memperkenalkan metode perencanaan pemeliharaan preventif yang baru, yaitu metode D-FAD, yang menggunakan angka fuzzy dan angka D untuk mempertimbangkan keandalan, risiko yang terkait, dan kesalahan.	Metode D-FAD menggabungkan desain aksiomatik fuzzy dan angka D untuk menganalisis faktor-faktor efektif dalam perencanaan pemeliharaan preventif. Sebuah studi kasus nyata di pabrik baja disajikan untuk menunjukkan efisiensi model dalam berbagai skenario risiko.	Pendekatan D-FAD diterapkan pada studi kasus pabrik baja untuk menentukan waktu penggantian suku cadang berdasarkan biaya, ketersediaan, dan keselamatan. Hasil menunjukkan efektivitas metode, dengan perbedaan hasil dibanding FTOPSIS dan FSAW karena mempertimbangkan risiko. Analisis sensitivitas dilakukan untuk menilai ketahanan keputusan terhadap perubahan bobot.	Penelitian ini tidak secara eksplisit mengukur risiko tiap alternatif, melainkan mengandalkan estimasi dari pendapat ahli. Studi kasus hanya mempertimbangkan satu kebijakan periodik, tanpa mengeksplorasi pendekatan lain seperti kebijakan usia atau blok. Selain itu, ketidakpastian direpresentasikan dengan bilangan fuzzy tunggal, bukan model yang lebih ekspresif seperti fuzzy ragu-ragu.	Metode D-FAD menyajikan pendekatan inovatif untuk mengatasi tantangan perencanaan pemeliharaan preventif dengan mengintegrasikan bilangan fuzzy dan D. Metode ini dicontohkan melalui studi kasus pabrik baja, yang menekankan kemampuan adaptasi model terhadap berbagai skenario risiko.
<i>A multi-criteria decision making method based on DNMA and CRITIC with linguistic D numbers for blockchain platform evaluation</i> (Lai & Liao, 2021)	Mengusulkan pendekatan terpadu yang menggabungkan <i>Linguistic D Numbers</i> (LDN), agregasi berganda berbasis normalisasi ganda (DNMA), dan metode <i>Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation</i> (CRITIC).	Memperkenalkan aturan untuk meningkatkan aspek komparatif LDN dan menciptakan kerangka kerja pengambilan keputusan beberapa kriteria yang terintegrasi dengan menggabungkan DNMA dengan LDN. Integrasi metode CRITIC dengan metode DNMA berbasis LDN untuk merefleksikan korelasi kriteria.	DNMA memungkinkan penanganan kriteria biaya, manfaat, dan target secara simultan serta meminimalkan kehilangan informasi akibat normalisasi tunggal. CRITIC digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan kriteria berdasarkan intensitas dan korelasi. Contoh numerik menunjukkan keefektifan dan keandalan metode melalui analisis sensitivitas.	Pendekatan ini lebih kompleks dari DNMA asli karena tambahan langkah CRITIC. Validasi masih berbasis contoh hipotetis, belum diuji pada data nyata. Pembobotan kriteria bersifat statis, tanpa mempertimbangkan perubahan dari waktu ke waktu.	Pendekatan ini menggabungkan LDN, DNMA, dan CRITIC untuk mengevaluasi platform blockchain secara komprehensif, mengatasi ketidakpastian, keragaman, dan korelasi kriteria. Efektivitasnya ditunjukkan melalui studi kasus evaluasi platform blockchain numerik.

Tabel 2.1 Ringkasan studi UMKM, BWM, Entropy dan D Numbers (*lanjutan*).

Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Kontribusi
<i>A novel decision-making system for selecting offshore wind turbines with PCA and D numbers</i> (Xu et al., 2022)	Mengembangkan sistem pengambilan keputusan baru yang menggabungkan angka D dengan <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) untuk meningkatkan proses pemilihan turbin angin lepas pantai.	Mengurangi subjektivitas ahli dengan memilih dua belas indikator sekunder dengan bobot. Para ahli menilai skema dengan menggunakan penilaian linguistik, dan angka D mengkuantifikasi penilaian ini, dengan mengintegrasikan pendapat para ahli. Skema optimal ditentukan dengan menggunakan TOPSIS.	PCA digunakan untuk mengurangi dimensi indikator dan menentukan bobot indikator, untuk mengatasi subjektivitas dalam pemilihan variabel. Angka D dikembangkan untuk mengukur informasi evaluasi yang tidak pasti dari para ahli, untuk mengatasi ketidaktepatan dalam penilaian bahasa. Sebuah studi kasus yang komprehensif menunjukkan penerapan metode yang diusulkan.	Validasi metode terbatas pada satu studi kasus tanpa pengujian lebih luas. Justifikasi PCA dan pembobotan indikator kurang mendalam, serta analisis sensitivitas belum dilakukan. Ketidakpastian evaluasi ahli belum sepenuhnya terakomodasi meskipun menggunakan angka D, dan keterbatasan metode ini tidak dibandingkan dengan pendekatan ketidakpastian lainnya.	Memperkenalkan sistem pengambilan keputusan inovatif yang menggabungkan angka D dan PCA untuk mengatasi kompleksitas dan ketidakpastian yang melekat pada pemilihan turbin angin lepas pantai. Model ini divalidasi melalui studi kasus dunia nyata, yang menyoroti keefektifannya dalam proses pengambilan keputusan.

Tinjauan literatur lain dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa studi terkait UMKM yang menggunakan metode BWM, Entropy, dan D numbers. Fokus utama tinjauan ini adalah keberlanjutan, karena perannya yang penting dalam pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan global. Mendes dkk menggunakan pemetaan kognitif dan BWM yang mengintegrasikan perspektif lingkungan, sosial, dan finansial untuk mengidentifikasi faktor penentu kewirausahaan berkelanjutan di UMKM (Mendes et al., 2022). Namun, ketergantungan pada opini para ahli dapat memunculkan bias dan membatasi generalisasi hasil. Ahmad dkk menghadapi masalah serupa dalam memprioritaskan strategi manajemen selama pandemi COVID-19 akibat ukuran sampel yang kecil dan tidak dilibatkannya kelompok pemangku kepentingan (Ahmad et al., 2021). Sati menunjukkan efektivitas metode Entropy-TOPSIS dalam menganalisis kinerja inovasi digital di negara-negara Uni Eropa, tetapi fokus regionalnya membatasi penerapan hasilnya secara lebih luas (Sati, 2024). Pamučar dkk mengintegrasikan BWM dengan MABAC menggunakan D numbers untuk pengelolaan limbah medis, yang berhasil menangani informasi linguistik *fuzzy* namun hanya berfokus pada bidang kesehatan (Pamučar dkk., 2021).

Penelitian lanjutan oleh (P. Liu et al., 2021) dan (Roy & Shaw, 2021) mengeksplorasi evaluasi kinerja lingkungan dan penilaian kredit berkelanjutan menggunakan BWM, yang menekankan fleksibilitas dan kekuatan metode ini meskipun terdapat tantangan dalam menjaga objektivitas akibat ketergantungan pada penilaian ahli. Penelitian oleh (Chakravarthi et al., 2022) dan (Mariadoss & Augustin, 2023) menggabungkan AHP, TOPSIS, dan VIKOR untuk optimalisasi multi-kriteria, yang menunjukkan potensi metodologi hibrida namun tidak membahas kebutuhan keberlanjutan spesifik UMKM. Penelitian (Vaezi et al., 2024a) dan (Alimohammadlou & Alinejad, 2023) mengintegrasikan teknologi *blockchain* dengan MCDM untuk seleksi pemasok berkelanjutan di UMKM, menyoroti potensi transformatif teknologi baru namun tanpa fokus khusus pada kewirausahaan berkelanjutan. Penelitian (Alimohammadlou & Khoshsepehr, 2022) menerapkan metode MCDM lanjutan untuk menilai pengembangan kota berkelanjutan dan keberlanjutan organisasi, tetapi lebih banyak ditujukan untuk

organisasi besar dibandingkan UMKM. Dong dkk memperkenalkan *Dynamic Probabilistic Linguistic Term Sets* (DPLTS) untuk pengambilan keputusan kelompok multi-kriteria dengan informasi dinamis, yang menekankan integrasi data real-time tetapi belum diterapkan dalam konteks keberlanjutan UMKM (Dong et al., 2024). Beberapa studi yang telah mengaplikasikan model MCDM dalam bidang keberlanjutan disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tinjauan model MCDM dalam bidang keberlanjutan.

Penulis	Tahun	Masalah yang diatasi	Metode MCDM
Mendes dkk.	2022	Faktor-faktor penting yang mempengaruhi kewirausahaan berkelanjutan pada UMKM	BWM, Cognitive Mapping
Sati	2024	Kinerja inovasi digital di negara-negara UE	Entropy, TOPSIS
Pamućar dkk.	2021	Pengelolaan limbah perawatan kesehatan	BWM, MABAC, D numbers
P. Liu dkk.	2021	Evaluasi kinerja lingkungan	BWM, D numbers
Roy & Shaw	2021	Sistem penilaian kredit berkelanjutan multi-kriteria untuk UMKM	BWM, TOPSIS
Vaezi dkk.	2024	Pemilihan pemasok berkelanjutan yang terintegrasi dengan <i>blockchain</i>	BWM, MULTIMOORA
Alimohammadlou & Alinejad	2023	Tantangan implementasi <i>blockchain</i> dalam rantai pasokan UMKM	BWM, DEMATEL
Foroozesh dkk.	2022	Penilaian pembangunan perkotaan berkelanjutan	Fuzzy BWM, AHP, TOPSIS-GIS
Alimohammadlou & Khoshsepehr	2022	Penilaian pembangunan berkelanjutan organisasi	Fuzzy AHP, WASPAS
Dong dkk.	2024	Pengambilan keputusan multi-kriteria dengan info linguistik yang dinamis	Dynamic Probabilistic Linguistic Term Sets (DLTS)
Metode yang diusulkan	2024	Kewirausahaan berkelanjutan pada UMKM	BWM, Entropy, D numbers

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa metode BWM, Entropy, dan D numbers telah digunakan secara luas dalam studi keberlanjutan, baik secara mandiri maupun dalam kombinasi terbatas. Namun, sebagian besar penelitian masih mengadopsi pendekatan parsial dan belum mengintegrasikan ketiganya secara komprehensif. Selain itu, penerapan dalam konteks UMKM masih relatif terbatas. Hal ini menunjukkan adanya celah riset yang dapat diisi melalui pengembangan metode BED (BWM–Entropy–D numbers) untuk mengevaluasi keberlanjutan UMKM secara lebih menyeluruh, adaptif, dan berbasis pada pengelolaan ketidakpastian.

2.2 Landasan Teori

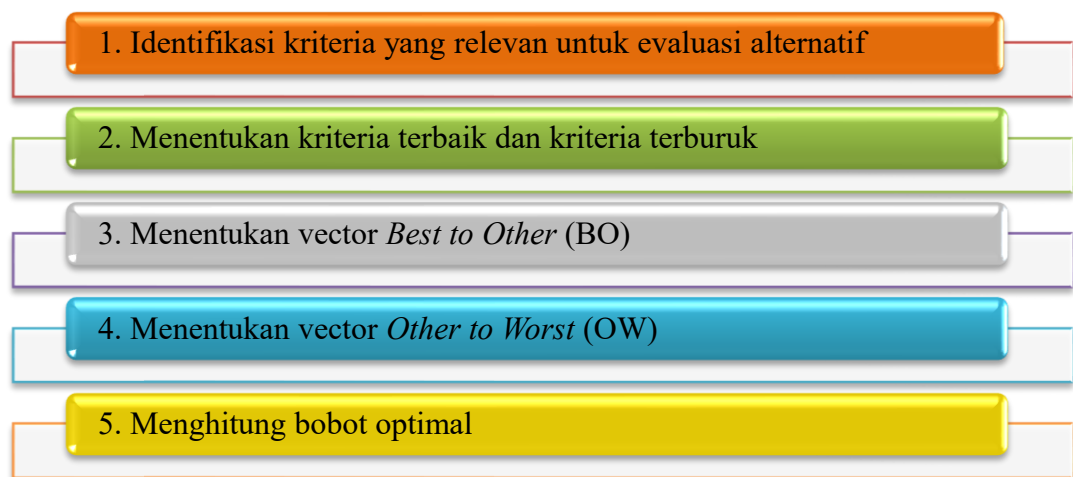
2.2.1 Metode *Best Worst Method* (BWM)

Metode *Best Worst Method* (BWM) diperkenalkan oleh Jafar Rezaei pada tahun 2015 sebagai salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria (*Multi-Criteria Decision Making/MCDM*) (Rezaei, 2015). Metode ini didasarkan pada perbandingan berpasangan yang terstruktur, di mana pengambil keputusan diminta untuk menentukan kriteria yang paling penting (*best*) dan yang paling tidak penting (*worst*), kemudian melakukan perbandingan terhadap kriteria lainnya terhadap dua kriteria tersebut (Rezaei, 2016).

Metode BWM termasuk dalam pendekatan *pairwise comparison* atau perbandingan berpasangan. Terdapat dua tahapan dalam menggunakan teknik *pairwise comparison*, pertama menentukan secara kualitatif kriteria yang akan dipilih dalam sebuah permasalahan, selanjutnya menetapkan bobot kuantitatif kriteria yang mencukupi terhadap kriteria kualitatifnya (Tanrıverdi et al., 2022). Teknik tersebut juga digunakan pada BWM, dimana kriteria terbaik dan terburuk dipilih dari daftar kriteria yang telah ditentukan. Penggunaan BWM memiliki beberapa kelebihan, diantaranya pemahaman yang jelas terkait jangkauan evaluasi, dan pengurangan kemungkinan bias dengan adanya model optimasi tunggal yang berlawanan arah yaitu terbaik dan terburuk (Dehshiri et al., 2022).

Keunggulan utama dari BWM adalah kemampuannya dalam memberikan evaluasi yang efisien dan stabil, serta meminimalkan bias subjektif melalui model optimasi matematis berbasis *min-max*. BWM juga cocok diterapkan pada pengambilan keputusan kompleks karena menyediakan kerangka kuantitatif yang sederhana namun kuat dalam menangkap preferensi pakar secara sistematis (Fard et al., 2022). BWM melakukan perbandingan terstruktur spesifik berdasarkan kepentingan relatif dari kriteria "terbaik" dan "terburuk" dalam kaitannya dengan faktor lain, menggunakan dua vektor perbandingan untuk menentukan bobot kriteria. Pertama, kriteria terbaik (yaitu, paling diinginkan atau penting) dan terburuk (yaitu, paling tidak diinginkan atau kurang penting) diidentifikasi oleh para pembuat keputusan (Masoomi et al., 2022).

Kriteria terbaik selanjutnya dibandingkan dengan faktor yang tersisa, dan yang terakhir dibandingkan dengan kriteria terburuk (Balezentis et al., 2021). Model *min-max non-linier* kemudian digunakan untuk mengidentifikasi bobot yang sesuai sehingga perbedaan absolut maksimum antara rasio bobot dan perbandingan yang sesuai diminimalkan, sehingga menunjukkan berbagai solusi optimal (Vieira et al., 2022). Tahapan metode BWM disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tahapan metode BWM.

Gambar 2.1 menyajikan alur tahapan metode BWM yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan bobot prioritas dari sejumlah kriteria. Proses BWM dirancang untuk menyederhanakan proses penilaian dengan hanya meminta pembuat keputusan untuk membandingkan kriteria terbaik dan terburuk terhadap kriteria lainnya, sehingga mengurangi kompleksitas pengisian matriks berpasangan seperti pada metode lain. Tahapan dalam metode ini disusun secara sistematis mulai dari identifikasi kriteria yang relevan, pemilihan kriteria terbaik dan terburuk, hingga proses pembentukan vektor dan perhitungan bobot optimal. Setiap tahapan bersifat saling berkaitan dan membentuk satu kesatuan proses pengambilan keputusan multi-kriteria berbasis preferensi pakar. Penjelasan berikut ini akan menguraikan masing-masing tahapan secara rinci sebagaimana digambarkan.

1. Identifikasi kriteria yang relevan untuk evaluasi alternatif

Pengambil keputusan mengidentifikasi seperangkat n kriteria $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ yang digunakan untuk membuat keputusan (Gul & Yucesan, 2022).

dengan:

$C1$ = kriteria 1,

$C2$ = kriteria 2,

Cn = kriteria ke-n.

2. Menentukan kriteria terbaik dan kriteria terburuk

Tahap kedua adalah memilih kriteria terbaik dan kriteria terburuk dari serangkaian faktor penentu yang diidentifikasi pada langkah pertama. Kriteria terbaik mewakili faktor yang paling diinginkan atau penting, sedangkan kriteria terburuk adalah faktor yang paling tidak diinginkan atau penting dalam hal masalah keputusan (Muravev & Mijic, 2020).

3. Menentukan *vector Best to Other* (BO)

Menentukan tingkat preferensi untuk kriteria terbaik pada masing-masing kriteria berdasarkan skala dari 1 hingga 9. Nilai "1" menyiratkan bahwa kedua kriteria itu sama pentingnya, sedangkan nilai "9" menunjukkan bahwa kriteria terbaik jauh lebih penting daripada faktor lainnya. Hasil dari penentuan preferensi untuk kriteria terbaik adalah *vector* BO yang ditulis sebagai A_{Bj} . Penentuan *vector* BO seperti pada Persamaan 2.1 (Aryafar & Roshanravan, 2021).

$$A_{Bj} = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (2.1)$$

dengan:

a_{B1} = kriteria terbaik 1,

a_{B2} = kriteria terbaik 2,

a_{Bn} = kriteria terbaik ke-n (data tertinggi).

Preferensi kriteria B atas dirinya sendiri secara logis sama dengan 1 (yaitu, $A_{BB} = 1$).

4. Menentukan *vector Other to Worst* (OW)

Menentukan tingkat preferensi untuk semua kriteria terburuk pada skala yang sama mulai dari 1 hingga 9. Nilai "1" menyiratkan bahwa kedua kriteria itu sama pentingnya, sedangkan nilai "9" berarti bahwa faktor lain jauh lebih penting daripada kriteria terburuk. Hasil dari penentuan preferensi untuk kriteria terburuk adalah *vector* OW yang ditulis sebagai A_w . Penentuan *vector*

OW seperti pada Persamaan 2.2 (Aryafar & Roshanravan, 2021).

$$A_W = (a_{1w}, a_{2w}, \dots a_{nw})^T \quad (2.2)$$

dengan:

a_{1w} = kriteria terburuk 1,

a_{2w} = kriteria terburuk 2,

a_{nw} = kriteria terburuk ke-n (data tertinggi),

T = *transpose* yang digunakan untuk menghasilkan matriks baru dengan cara menukar baris dan kolom dari matriks atau vektor asli.

5. Menghitung bobot optimal

Bobot optimal untuk setiap kriteria adalah bobot dimana, untuk setiap pasangan w_B/w_j dan w_j/w_w , $w_B/w_j = a_{Bj}$ dan $w_j/w_w = a_{jw}$. Agar kondisi ini terpenuhi untuk semua j , maka solusi harus ditemukan sedemikian rupa sehingga nilai maksimum dari selisih mutlak dapat diminimalkan $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ dan $\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right|$ untuk semua j diminimalkan. Min max merujuk pada tahapan di mana nilai terkecil (*min*) dan nilai terbesar (*max*) diidentifikasi dalam set data. Menghitung optimasi dapat dituliskan seperti pada Persamaan 2.3 (Petrudi et al., 2022).

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\} \quad (2.3)$$

dengan:

w_B = bobot atau nilai dari elemen B,

w_j = bobot atau nilai dari elemen j,

a_{Bj} = nilai ideal atau preferensi yang menggambarkan hubungan antara elemen B dan j,

w_w = bobot atau nilai elemen w yang digunakan sebagai pembanding dalam hubungan dengan elemen j,

a_{jw} = nilai ideal untuk hubungan antara elemen j dan elemen w.

Persamaan 2.3 setara dengan persamaan 2.4 dimana nilai minimum dari variabel tambahan atau min ξ . w_B adalah bobot atas kriteria terbaik, w_w adalah bobot atas kriteria terburuk, w_j adalah bobot kriteria, a_{Bj} adalah

preferensi atas kriteria terbaik dan a_{jw} adalah preferensi atas kriteria terburuk. (Torkayesh, Pamucar, dkk., 2021).

$$\begin{aligned} \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| &\leq \xi, \text{ untuk semua } j \\ \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| &\leq \xi, \text{ untuk semua } j \\ \sum_j w_j &= 1 \end{aligned} \quad (2.4)$$

dengan:

- w_B = bobot atau nilai dari elemen B , w_j adalah bobot atau nilai dari elemen j ,
- a_{Bj} = nilai ideal atau preferensi yang menggambarkan hubungan antara elemen B dan j ,
- w_w = bobot atau nilai elemen w yang digunakan sebagai pembanding dalam hubungan dengan elemen j ,
- a_{jw} = nilai ideal untuk hubungan antara elemen j dan elemen w ,
- ξ = batas toleransi maksimal untuk perbedaan antara rasio aktual $\frac{w_B}{w_j}$ dan nilai ideal a_{Bj} .

Nilai $w_j \geq 0$ untuk semua j menjadi fundamental dalam berbagai permasalahan optimasi dan analisis matematis. Pernyataan bahwa variabel w_j harus lebih besar dari atau sama dengan nol, hal ini membawa implikasi yang signifikan dalam interpretasi serta solusi dari permasalahan yang dihadapi. Pembatasan ini sering kali digunakan untuk memastikan keakuratan serta keterjangkauan solusi, sekaligus memberikan interpretasi yang realistis terhadap variabel yang terlibat dalam permasalahan matematis (Riahi et al., 2023).

Bobot optimal yang disimbolkan oleh $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ merujuk pada himpunan atau vektor dari nilai-nilai optimal atau terbaik dari variabel-variabel w_1^*, w_2^* sampai w_n^* dalam suatu konteks atau permasalahan tertentu. ξ^* adalah nilai optimum atau terbaik dari suatu fungsi atau parameter ξ , sering kali digunakan untuk menunjukkan nilai optimal dari suatu fungsi objektif atau variabel yang diinginkan dalam suatu permasalahan. Setelah menghitung bobot, langkah selanjutnya adalah memeriksa konsistensinya. Tabel 2.3 menunjukkan indeks konsistensi yang diperoleh. Indeks konsistensi

digunakan untuk memperkirakan rasio konsistensi (Ksi^*) dengan Persamaan 2.5 (Torkayesh, Zolfani, et al., 2021):

$$Ksi^* = \frac{\xi^*}{Consistency\ Index} \quad (2.5)$$

dengan:

$\xi^*(xi)$ = nilai rata-rata atau agregat dari deviasi maksimum.

Semakin rendah ξ^* , semakin rendah Ksi^* dan semakin konsisten vektornya. Nilai yang mendekati nol menegaskan tingkat yang tinggi konsistensi. Berikut merupakan indeks konsistensi disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Indeks konsistensi bobot optimal.

a_{Bw}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Consistency index</i>	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

Tabel 2.3 menyajikan nilai indeks konsistensi (*Consistency Index*) yang digunakan untuk menghitung rasio konsistensi (Ksi^*) dalam metode BWM. Indeks ini merepresentasikan nilai ambang yang digunakan sebagai pembanding terhadap nilai deviasi maksimum rata-rata (ξ^*) dari bobot optimal yang telah dihitung. Setiap nilai dalam tabel disesuaikan dengan nilai skala preferensi yang digunakan oleh pengambil keputusan dalam proses perbandingan berpasangan, yaitu dari nilai skala 1 hingga 9. Sebagai contoh, jika perbandingan skala maksimum yang digunakan adalah 5, maka nilai indeks konsistensinya adalah 2,30. Penggunaan nilai ξ^* yang diperoleh dari proses perhitungan bobot optimal dan membaginya dengan nilai indeks konsistensi yang sesuai pada Tabel 2.3, maka diperoleh nilai rasio konsistensi Ksi^* . Rasio ini mencerminkan tingkat konsistensi dari keputusan yang dibuat oleh pakar. Semakin rendah nilai ξ^* terhadap indeks konsistensinya, maka semakin kecil nilai Ksi^* , yang berarti tingkat konsistensi preferensi semakin tinggi. Rasio konsistensi yang rendah (mendekati nol) menunjukkan bahwa perbandingan preferensi antar kriteria dilakukan secara logis dan konsisten oleh pengambil keputusan.

2.2.2 Entropy

Metode Entropy adalah teknik yang digunakan untuk mengukur tingkat ketidakaturan atau ketidakpastian dalam suatu sistem informasi (Thakur et al., 2022). Metode ini digunakan untuk menentukan bobot kriteria secara objektif berdasarkan data yang terkait dengan setiap kriteria dalam konteks pengambilan keputusan multi-kriteria (Shang et al., 2022). Keunggulan metode pembobotan Entropy adalah kemampuannya untuk memperhitungkan kompleksitas dan ketidakpastian dalam data kriteria, sehingga memberikan pembobotan yang lebih objektif (S. Zhang et al., 2023). Metode ini membantu untuk menghasilkan keputusan yang lebih baik dan lebih komprehensif dalam situasi dimana terdapat banyak kriteria yang harus dipertimbangkan (Mishra et al., 2023). Tahapan metode Entropy disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tahapan metode entropy.

Gambar 2.2 menyajikan tahapan metode Entropy yang digunakan untuk menentukan bobot objektif dari setiap kriteria berdasarkan variasi informasi yang terkandung dalam data. Metode ini memanfaatkan prinsip entropi dalam teori informasi, di mana kriteria dengan tingkat variasi informasi yang lebih tinggi dianggap lebih penting. Proses perhitungan dalam metode Entropy dilakukan secara kuantitatif tanpa melibatkan penilaian subjektif dari pakar, sehingga memberikan kontribusi objektif dalam pembobotan kriteria. Metode ini digunakan untuk

menyeimbangkan dan melengkapi hasil evaluasi subjektif dari metode lain, serta meningkatkan keandalan keputusan multi-kriteria. Tahapan dalam metode ini dimulai dari pembuatan matriks keputusan hingga perhitungan akhir bobot kriteria. Penjelasan berikut akan menguraikan secara rinci setiap langkah sebagaimana digambarkan.

1. Membuat Matriks Keputusan (*Decision Matrix*)

Matriks keputusan menyajikan penilaian setiap alternatif berdasarkan setiap kriteria yang telah ditentukan (Adnan et al., 2024). Penyusunan matriks ini dilakukan sesuai dengan struktur dan formulasi yang dijelaskan pada Persamaan 2.6, yang merepresentasikan hubungan antara alternatif dan kriteria dalam bentuk kuantitatif.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2n} \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

dengan:

m = jumlah alternatif,

n = jumlah kriteria,

x_{ij} = penilaian alternatif A_i pada kriteria C_j .

2. Normalisasi Matriks Keputusan

Normalisasi matriks keputusan bertujuan untuk mengubah skala nilai dari setiap kriteria agar menjadi komparabel (sebanding) satu sama lain (Q. Zhang et al., 2024). Proses normalisasi dilakukan sesuai dengan Persamaan 2.7.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (2.7)$$

$$r_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}}$$

dengan:

x_{ij} = penilaian alternatif A_i pada kriteria C_j ,

$\max(x_{ij})$ = nilai maksimum dari kriteria j di semua alternatif,

$\min(x_{ij})$ = nilai minimum dari kriteria j di semua alternatif.

3. Menghitung Nilai Proporsi

Proporsi p_{ij} untuk elemen r_{ij} dalam matriks keputusan yang dinormalisasi dihitung dengan membagi nilai elemen tersebut dengan jumlah nilai-nilai elemen pada

kolom yang sama (kriteria j) (Y. Wu et al., 2022). Perhitungan ini dilakukan mengacu pada Persamaan 2.8, yang menjadi dasar dalam menghitung kontribusi relatif tiap alternatif terhadap masing-masing kriteria.

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (2.8)$$

dengan:

p_{ij} = proporsi elemen r_{ij} ,

r_{ij} = nilai elemen pada matriks keputusan yang dinormalisasi,

m = jumlah alternatif.

4. Menghitung Nilai Entropy

Nilai entropy digunakan mengukur ketidakpastian dalam distribusi data suatu kriteria. Semakin besar ketidakpastian dalam distribusi nilai suatu kriteria, semakin besar nilai entropynya. Nilai entropy juga digunakan untuk menentukan seberapa informatif suatu kriteria (Y. Wu et al., 2023). Prosedur ini dihitung berdasarkan Persamaan 2.9.

$$E_j = \left[\frac{-1}{\ln m} \right] \sum_{i=1}^n [p_{ij} * \ln(p_{ij})] \quad (2.9)$$

dengan:

m = jumlah alternatif,

n = jumlah kriteria,

p_{ij} = nilai dari alternatif i pada kriteria j , yang sudah dinormalisasi menjadi proporsi,

$\ln(\cdot)$ = fungsi logaritma natural.

Konstanta $\left[\frac{-1}{\ln m} \right]$:

Konstanta ini digunakan untuk menormalkan entropy sehingga nilai entropy berada dalam rentang 0 hingga 1 (Yousuf Ali & Rahman, 2024). Konstanta ini memastikan bahwa entropy maksimum adalah 1 ketika ketidakpastian maksimum tercapai (semua nilai memiliki distribusi yang sama).

Proporsi $[p_{ij} * \ln(p_{ij})]$:

p_{ij} adalah proporsi dari elemen p_{ij} dalam matriks keputusan yang dinormalisasi.

$p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$ adalah produk dari proporsi p_{ij} dan logaritma natural dari p_{ij} .

5. Menghitung Nilai Dispersi

Nilai dispersi (atau derajat divergensi) digunakan untuk mengukur seberapa jauh suatu kriteria berkontribusi terhadap pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan nilai entropy yang telah dihitung (Peng et al., 2024). Dispersi adalah kebalikan dari entropy, yang berarti semakin tinggi nilai entropy, semakin rendah nilai dispersinya, dan sebaliknya. Nilai dispersi dihitung dengan mengurangi nilai entropy dari satu sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.10.

$$d_j = 1 - E_j \quad (2.10)$$

dengan:

E_j = nilai *entropy* untuk kriteria j .

6. Menghitung Bobot Kriteria

Bobot kriteria menunjukkan tingkat kepentingan relatif dari masing-masing kriteria dalam pengambilan keputusan. Bobot ini dihitung dengan menormalkan nilai dispersi yang telah diperoleh (Zeng et al., 2024). Perhitungan bobot dilakukan sesuai dengan Persamaan 2.11.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (2.11)$$

dengan:

w_j = bobot untuk kriteria j ,

d_j = nilai dispersi untuk kriteria j ,

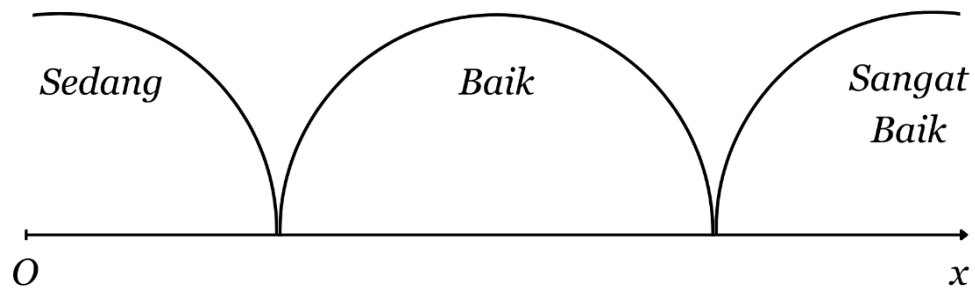
n = jumlah kriteria.

2.2.3 Dempster-Shafer

Teori Dempster-Shafer juga dikenal sebagai teori bukti yang digunakan untuk memproses informasi yang tidak pasti yang termasuk dalam bidang kecerdasan buatan. Teori ini pertama kali diperkenalkan oleh Arthur P. Dempster dalam konteks inferensi statistik (Dempster, 1967) dan kemudian dikembangkan oleh Glenn Shafer menjadi sebuah *framework* (Shafer, 1976). Sebagai sebuah teori menganalisis penalaran dalam lingkungan yang tidak pasti, teori ini lebih cocok untuk aplikasi dalam sistem pakar dalam kaitannya dengan teori probabilitas

Bayesian, karena membutuhkan kondisi yang lebih lemah (Shenoy, 2023). Teori probabilitas bayesian tradisional dengan pendekatan bayesian (subjektif) tidak mampu memproses informasi yang tidak spesifik, ambigu, dan saling bertentangan tanpa menetapkan asumsi yang kuat. Keterbatasan ini sebagian dapat diatasi dengan menerapkan Teori bukti Dempster-Shafer, yang cukup fleksibel untuk menggabungkan kekuatan teori probabilitas dan fleksibilitas sistem fleksibilitas dari sistem yang didasarkan pada aturan (Y. Wang et al., 2022; X. Zhang et al., 2023). Teori bukti Dempster-Shafer diterapkan secara luas, karena memungkinkan ekspresi langsung dari ketidakpastian dengan memberikan probabilitas pada elemen yang diorganisasikan dalam himpunan bagian dalam suatu himpunan, bukan pada objek individu dalam himpunan tersebut (Urbani et al., 2023).

Kerangka Penegasan dalam teori bukti Dempster-Shafer digunakan untuk menggambarkan keyakinan (*belief*) terhadap suatu peristiwa atau hipotesis. Kerangka penegasan ini berada dalam skala dari keyakinan sedang, baik, hingga sangat baik. Pada tingkat keyakinan sedang, memiliki tingkat keyakinan yang tidak terlalu kuat namun juga tidak terlalu lemah terhadap suatu hipotesis atau peristiwa. Ini menunjukkan bahwa ada beberapa bukti atau informasi yang mendukung hipotesis tersebut, tetapi keyakinan belum cukup kuat untuk menyatakan bahwa hipotesis tersebut sangat mungkin terjadi. Tingkat keyakinan baik menunjukkan bahwa terdapat bukti yang kuat atau cukup signifikan yang mendukung suatu hipotesis. Ini menggambarkan bahwa bukti-bukti yang ada menunjukkan kemungkinan yang tinggi bahwa hipotesis tersebut benar. Namun, masih mungkin terdapat ketidakpastian atau kekurangan informasi yang belum terungkap sepenuhnya. Tingkat keyakinan sangat baik menandakan bahwa terdapat bukti yang sangat kuat, nyata, dan meyakinkan yang mendukung suatu hipotesis atau peristiwa. Tingkat keyakinan pada kerangka penegasan ini tergolong sangat tinggi, sehingga hipotesis yang dimaksud dapat diasumsikan memiliki kemungkinan besar untuk benar, bahkan mendekati kepastian. Representasi kerangka penegasan teori dalam teori bukti Dempster-Shafer ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kerangka penegasan dalam teori bukti Dempster-Shafer.

Gambar 2.3 menjelaskan kerangka penegasan dalam teori bukti Dempster-Shafer yang digunakan untuk merepresentasikan tingkat keyakinan terhadap suatu hipotesis atau peristiwa berdasarkan bukti yang tersedia. Derajat keyakinan digambarkan dalam bentuk kurva yang mewakili tiga tingkat kepercayaan utama, yaitu: Sedang, Baik, dan Sangat Baik. Sumbu horisontal (x) menunjukkan domain kemungkinan, sedangkan titik-titik lengkungan menunjukkan derajat penguatan atau dukungan terhadap hipotesis. Kurva Sedang menunjukkan bahwa bukti yang tersedia mendukung hipotesis dengan kekuatan yang moderat, namun masih menyisakan ketidakpastian yang signifikan. Kurva Baik menunjukkan tingkat keyakinan yang lebih kuat dan cenderung positif terhadap kebenaran hipotesis. Adapun kurva Sangat Baik merepresentasikan kondisi di mana keyakinan terhadap hipotesis sangat tinggi, nyaris pasti, karena didukung oleh bukti yang sangat meyakinkan dan konsisten.

Visualisasi ini membantu menjelaskan bagaimana keyakinan terhadap suatu pernyataan atau kondisi dapat dikategorikan dalam spektrum probabilitas dan tingkat kepastian. Semakin tinggi posisi pada kurva (dari Sedang ke Sangat Baik), semakin besar tingkat dukungan terhadap hipotesis yang dimaksud. Pendekatan ini digunakan untuk menangani ketidakpastian informasi dan memberikan kerangka penalaran yang fleksibel dalam pengambilan keputusan berbasis bukti.

2.2.4 D numbers

Teori bilangan D adalah generalisasi dari teori Dempster-Shafer (DS) yang mewarisi kelebihan dari teori Dempster-Shafer dan memiliki kinerja yang baik untuk menangani ketidakpastian informasi. Dengan mempresentasikan angka D pada

tahun 2012 sebagai teknik yang telah direvisi untuk mengatasi ketidakpastian, mengatasi kekurangan dalam teori Dempster-Shafer (teori D-S). Teori D-S membutuhkan komponen yang saling eksklusif dan lengkap secara kolektif, yang sering kali kurang dalam pengaturan dunia nyata, terutama ketika hipotesis dinyatakan secara linguistik (Y. Deng, 2012). Tidak seperti teori D-S, angka D menawarkan kemampuan beradaptasi dalam menangani ekspresi linguistik dan informasi yang tidak lengkap, sehingga membuatnya sangat berharga dalam skenario dengan pengetahuan yang terbatas. Bilangan D tidak perlu mempertimbangkan asumsi batasan integritas dan independensi, dan ruang lingkup penerapannya lebih luas daripada teori DS (Zhou et al., 2020).

D numbers merupakan suatu konsep dan metode dalam teori keputusan yang digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dan kompleksitas dalam proses pengambilan keputusan. Proses pengambilan keputusan kerap menghadapi kondisi dengan informasi yang tidak sepenuhnya pasti atau sulit diukur. D numbers memungkinkan integrasi informasi dari berbagai sumber yang dapat dinyatakan dalam bentuk nilai pasti, interval, atau bahkan distribusi probabilitas. D numbers memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam merepresentasikan pengetahuan dan keyakinan yang terkait dengan kepastian atau ketidakpastian suatu informasi (Mi et al., 2021). Konteks pada D numbers, nilai D (*Discounted Belief*) mewakili derajat keyakinan terhadap suatu proposisi atau kejadian. Nilai D berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai 0 mengindikasikan ketidakpercayaan total sementara nilai 1 menunjukkan keyakinan penuh. D numbers juga melibatkan nilai D+ yang merepresentasikan keyakinan tambahan terkait dengan proposisi tersebut. D+ juga berkisar antara 0 hingga 1 dan memberikan tingkat tambahan dari keyakinan yang diperoleh dari bukti atau informasi lebih lanjut (X. Deng & Jiang, 2019).

Preferensi Damster *Numbers* (D numbers) merupakan perpanjangan dari hubungan preferensi *fuzzy* yang mewakili matrik keputusan perbandingan berpasangan oleh para ahli. D numbers menangani informasi yang tidak lengkap dan mungkin tidak tepat (P. Liu & Zhang, 2020). Metode ini juga mengatasi kekurangan hubungan preferensi *fuzzy*. D numbers merupakan informasi representasi baru, yang merupakan perluasan dari teori Dempster-Shafer.

Mengatasi kelemahan-kelemahan yang ada dalam teori probabilitas, teori *fuzzy set*, teori Dempster-Shafer. D numbers lebih efektif dalam menangani informasi yang tidak pasti. Teori bukti Dempster-Shafer juga disebut teori Dempster-Shafer atau teori bukti, digunakan untuk menangani informasi yang tidak pasti. Hal ini pertama kali diusulkan oleh Dempster dan kemudian dikembangkan oleh Shafer. Teori ini dipandang sebagai perluasan dari teori probabilitas Bayesian, karena hanya membutuhkan asumsi yang lebih lemah dibandingkan dengan pendekatan Bayesian. Sebagai teori penalaran di bawah lingkungan yang tidak pasti, teori Dempster-Shafer memiliki keuntungan langsung mengungkapkan "ketidakpastian" dengan menetapkan probabilitas pada himpunan bagian yang berisi beberapa objek, bukan pada masing-masing objek secara individu (P. Liu & Zhang, 2019). Bilangan D bertujuan menyajikan informasi yang tidak pasti, yang merupakan perpanjangan dari teori Dempster-Shafer (Sepehri et al., 2023).

Definisi 1 mengenai D numbers menyatakan bahwa jika Ω adalah himpunan terbatas dan tidak kosong, maka D numbers adalah suatu pemetaan (Y. Deng, 2012). Simbol Ω merujuk pada sebuah himpunan yang dikenal sebagai himpunan ketidakpastian. Himpunan ini berperan dalam menggambarkan ketidakpastian atau ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan. Pemetaan D numbers seperti pada Persamaan 2.12. Penggambaran distribusi atau himpunan dari nilai-nilai kepastian atau keyakinan terhadap himpunan kemungkinan peristiwa atau kejadian (Ω) dituliskan pada Persamaan 2.13. Simbol $\sum_{B \subseteq \Omega}$ menunjukkan penjumlahan dari nilai-nilai $D(B)$ di mana B adalah himpunan bagian dari himpunan kemungkinan (Ω). Dalam teori D numbers, $D(B)$ melambangkan tingkat keyakinan atau kepastian terkait dengan himpunan B dalam Ω . $\sum_{B \subseteq \Omega} D(B) \leq 1$ menyatakan bahwa total dari semua tingkat keyakinan $D(B)$ dari himpunan bagian B dalam Ω tidak boleh melebihi 1. $D(\phi) = 0$ menjelaskan bahwa tingkat keyakinan terhadap himpunan kosong (ϕ) adalah nol. Ini menegaskan bahwa jika tidak ada elemen yang ada dalam himpunan kemungkinan Ω , tingkat keyakinan terkait himpunan tersebut adalah nol.

$$D : \Omega \rightarrow [0, 1] \quad (2.12)$$

dengan:

Ω = himpunan semesta kemungkinan,

$[0, 1]$ = nilai kepercayaan berada dalam rentang antara 0 dan 1.

$$\sum_{B \subseteq \Omega} D(B) \leq 1 \text{ dan } D(\phi) = 0 \quad (2.13)$$

dengan:

$\sum_{B \subseteq \Omega} D(B) \leq 1$ = total derajat kepercayaan tidak boleh melebihi 1,

$D(\phi)$ = himpunan kosong tidak memiliki kepercayaan.

Bentuk dari D numbers dapat dinyatakan sebagai $D = \{(b_1, v_1), (b_2, v_2), \dots, (b_i, v_i), \dots, (b_n, v_n)\}$, dengan syarat $v_i > 0$ untuk setiap i, dan jumlah dari v_i untuk setiap i antara 1 hingga n adalah kurang atau sama dengan 1. Dalam konteks ini, v_i mewakili tingkat keyakinan atau massa terhadap elemen-elemen tertentu dalam himpunan Ω dan b_i adalah elemen ke-i dalam himpunan data D. Definisi 2 memberikan panduan tentang bagaimana menghitung integrasi D numbers untuk kasus khusus di mana D numbers direpresentasikan dalam bentuk diskrit D seperti pada Persamaan 2.14.

$$I(D) = \sum_{i=1}^n b_i v_i \quad (2.14)$$

dengan:

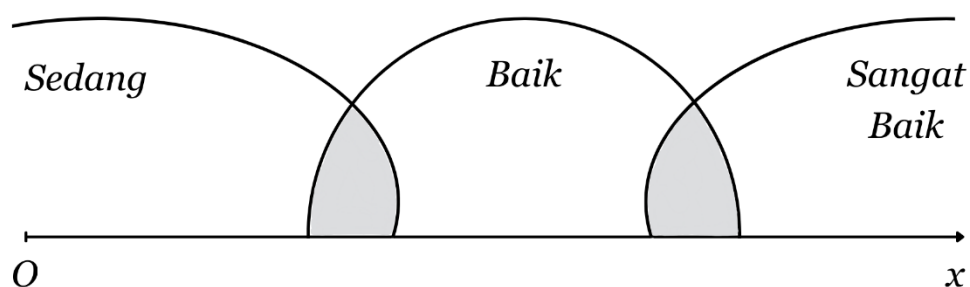
b_i = bobot atau faktor tertentu yang berkontribusi pada nilai akhir,

v_i = nilai variabel atau parameter yang dikalikan dengan bobotnya.

$I(D)$ adalah integrasi dari D numbers. Ini adalah nilai hasil dari perhitungan, yang mencerminkan gabungan tingkat keyakinan (v) terhadap elemen-elemen (b) dalam himpunan Ω . Setiap b_i mewakili elemen atau variabel tertentu dalam konteks pengambilan keputusan.

Kerangka Penegasan dalam teori bukti Dempster-Shafer dan domain dalam D numbers mengilustrasikan dua kerangka kerja kunci yang digunakan dalam mengatasi ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengambilan keputusan. Teori Dempster-Shafer adalah suatu kerangka kerja yang memungkinkan representasi dan penanganan bukti yang tidak pasti atau ambigu dalam pengambilan keputusan. Gambar 2.4 mencerminkan bagaimana teori ini memodelkan kepastian atau keyakinan melalui massa gabungan yang terkait dengan proposisi-proposisi yang

mungkin. Gambar berikutnya juga memberikan pandangan tentang domain D numbers, yaitu metode matematika yang memungkinkan integrasi informasi dari berbagai sumber dengan tingkat keyakinan yang berbeda. Domain D numbers memungkinkan representasi tingkat ketidakpastian dalam suatu keputusan dengan cara yang lebih fleksibel, memperhitungkan nilai D , D^+ , dan D^- yang mencerminkan tingkat keyakinan, bukti tambahan, dan pengetahuan terkait dengan suatu proposisi. Kerangka penegasan teori dalam teori bukti Dempster-Shafer dan domain dalam D numbers disajikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kerangka penegasan dalam teori bukti Dempster-Shafer dan domain dalam D numbers.

Gambar 2.4 menyajikan representasi visual dari kerangka penegasan (*frame of discernment*) yang berasal dari teori bukti Dempster-Shafer, yang kemudian diperluas dalam domain D numbers. Gambar ini menampilkan distribusi tingkat keyakinan terhadap tiga kategori penilaian linguistik, yaitu Sedang, Baik, dan Sangat Baik. Yang membedakan pendekatan ini dengan representasi konvensional adalah adanya area tumpang tindih antar kategori, yang divisualisasikan dalam bentuk wilayah abu-abu pada kurva. Wilayah ini secara khusus menunjukkan ambiguitas dan ketidakpastian dalam penilaian, yang tidak dapat diakomodasi secara eksplisit oleh model probabilistik klasik maupun teori Dempster-Shafer standar.

Pada teori Dempster-Shafer, massa keyakinan (*belief mass*) hanya dapat diberikan kepada subset dari himpunan proposisi, dan setiap unit kepercayaan harus didistribusikan secara penuh ke dalam kategori yang pasti atau himpunan yang terdefinisi. Namun, pendekatan D numbers memperkenalkan fleksibilitas baru, yakni bahwa keyakinan terhadap suatu proposisi tidak perlu didistribusikan secara

lengkap atau mutlak ke satu kategori tertentu. Sebaliknya, sebagian keyakinan dapat diberikan kepada situasi yang tidak sepenuhnya jelas atau berada di antara dua kategori. Sebagai contoh, informasi yang diberikan oleh pakar dapat mengarah pada nilai yang cenderung Baik tetapi tidak sepenuhnya mengesampingkan kategori Sedang, sehingga bobot keyakinannya terdistribusi secara parsial antara keduanya.

Representasi grafis dalam Gambar 2.4 juga mencerminkan pendekatan *fuzzy* linguistik, di mana nilai-nilai seperti D , D^+ , dan D^- digunakan untuk merepresentasikan dimensi keyakinan secara lebih kaya. Nilai D menyatakan derajat dukungan terhadap suatu peristiwa, D^+ melambangkan informasi tambahan atau bukti positif, sementara D^- menyiratkan ketidaktahuan atau derajat ketidakpastian. Dengan memanfaatkan struktur ini, D numbers tidak hanya mampu menangani ketidaksempurnaan informasi, tetapi juga memperkuat integrasi data dari berbagai sumber penilaian dengan tetap mempertahankan konteks ketidakpastian.

2.2.5 Metode Aiken's V

Metode Aiken's V merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur validitas isi (*content validity*) dari suatu instrumen penelitian. Metode ini dikembangkan oleh Lewis Aiken pada tahun 1980 dengan tujuan mengevaluasi kesesuaian dan relevansi butir-butir instrumen terhadap aspek yang diukur (Aiken, 1980). Validitas isi menjadi sangat penting dalam penelitian, terutama ketika instrumen yang digunakan disusun sendiri oleh peneliti dan belum memiliki validitas yang kuat. Metode Aiken's V memungkinkan peneliti menguji apakah butir instrumen tersebut layak untuk diukur berdasarkan penilaian para ahli (Aiken, 1985).

Metode Aiken's V menggunakan penilaian dari beberapa pakar (*rater*) yang memberikan skor pada setiap butir instrumen berdasarkan tingkat kesesuaiannya dengan konstruk yang diukur. Validitas isi dalam penelitian bertujuan memastikan bahwa setiap item secara representatif mencerminkan konsep yang diteliti (Yusoff, 2019). Metode ini sangat berguna untuk menilai validitas isi, karena memungkinkan peneliti mengevaluasi keterwakilan item terhadap konstruk dan

menyediakan dasar empiris melalui penilaian pakar. Hasil perhitungan Aiken's V juga dapat digunakan untuk merevisi item yang kurang valid, sehingga meningkatkan kualitas instrumen secara keseluruhan (Anculle-Arauco et al., 2024). Nilai indeks validitas Aiken's V dihitung menggunakan Persamaan 2.15.

$$V = \frac{\sum s}{n(c-1)} \quad (2.15)$$

dengan:

s = skor yang diberikan oleh pakar, dikurangi nilai skor terendah pada skala penilaian ($s = r - lo$), dengan:

r = skor yang diberikan oleh pakar untuk suatu item,

lo = skor terendah dalam skala,

$\sum s$ = total skor penyesuaian dari seluruh penilai untuk suatu item,

n = jumlah penilai (pakar) yang memberikan penilaian,

c = jumlah kategori skala penilaian yang digunakan.

Formula tersebut menghitung nilai V berdasarkan selisih antara skor yang diberikan oleh pakar terhadap nilai minimum dari skala. Nilai Aiken's V berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan validitas yang tinggi, sedangkan nilai mendekati 0 menunjukkan validitas yang rendah. Setelah dilakukan perhitungan dan menghasilkan indeks V, Aiken juga memberikan panduan yang menyatakan bahwa apakah suatu item tersebut diterima atau tidak. Rambu-rambu untuk menilai indeks V skala ordinal lima poin tersebut disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai koefisien indeks V.

Jumlah pakar (n)	Nilai <i>threshold</i>
2	1
3	0,92
4	0,88
5	0,80
6	0,79
7	0,75
8	0,75
9	0,72
10	0,70
11	0,70
12	0,69

Tabel 2.4 Nilai koefisien indeks V (*lanjutan*).

Jumlah pakar (n)	Nilai <i>threshold</i>
13	0,67
14	0,68
15	0,67
16	0,66
17	0,66
18	0,65
19	0,64
20	0,64
21	0,64
22	0,64
23	0,63
24	0,64
25	0,64

Tabel 2.4 menyajikan nilai ambang batas (*threshold*) koefisien Aiken's V yang digunakan untuk menentukan apakah suatu item instrumen memiliki validitas isi yang memadai berdasarkan jumlah pakar yang terlibat dalam proses penilaian. Semakin banyak jumlah pakar (*n*) yang memberikan penilaian, semakin kecil nilai *threshold* Aiken's V yang dapat diterima, karena ketelitian dan keandalan penilaian meningkat seiring bertambahnya jumlah pakar.

Nilai *threshold* menunjukkan batas minimal nilai Aiken's V yang dianggap signifikan atau *valid*. Misalnya, jika suatu item dinilai oleh 5 pakar, maka nilai Aiken's V minimum yang dapat dikatakan valid adalah 0,80. Jika hanya 3 pakar yang menilai, maka nilai Aiken's V yang dapat diterima meningkat menjadi 0,92 karena kemungkinan ketidakseimbangan penilaian lebih besar pada jumlah pakar yang sedikit. Sebaliknya, ketika jumlah pakar mencapai 10 atau lebih, nilai *threshold* turun menjadi sekitar 0,70 karena semakin banyaknya data penilaian memberikan hasil yang lebih stabil dan representatif.

Tabel ini dijadikan acuan dalam proses validasi instrumen, khususnya saat melakukan pengukuran terhadap aspek isi suatu kuesioner atau alat ukur lainnya dalam penelitian. Jika nilai Aiken's V untuk suatu item berada di bawah *threshold* yang sesuai dengan jumlah pakar, maka item tersebut perlu ditinjau ulang, diperbaiki, atau dihilangkan dari instrumen. Sebaliknya, jika nilainya berada di atas *threshold*, maka item dapat dianggap valid secara isi dan layak digunakan.

2.2.6 Korelasi Rank Spearman

Korelasi Rank Spearman (*Spearman's Rank Correlation Coefficient*) adalah salah satu teknik statistik non-parametrik yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel ordinal atau dua rangkaian data peringkat. Korelasi Spearman sering diterapkan dalam analisis multikriteria untuk mengevaluasi tingkat kesamaan antara urutan prioritas yang dihasilkan dari dua metode pembobotan yang berbeda. Pendekatan ini sangat berguna dalam validasi hasil pengambilan keputusan karena fokusnya bukan pada nilai absolut, melainkan pada urutan atau peringkat bobot yang dihasilkan (Spearman, 2010).

Konteks pengambilan keputusan multikriteria (*Multi-Criteria Decision Making* atau MCDM), Rank Spearman banyak digunakan untuk memvalidasi hasil pembobotan antar metode. Validasi ini dilakukan dengan cara membandingkan urutan prioritas yang dihasilkan dari dua atau lebih metode pembobotan. Misalnya antara metode seperti AHP atau BWM dan metode objektif seperti Entropy atau metode gabungan seperti BED. Fokus pendekatan ini bukan pada nilai absolut dari bobot, melainkan pada kesesuaian struktur peringkat antar metode.

Koefisien korelasi Spearman dilambangkan dengan simbol ρ (rho), dan dihitung menggunakan Persamaan 2.16 (Spearman, 2010).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.16)$$

dengan:

d_i^2 = perbedaan peringkat untuk pasangan data ke- i ,

n = jumlah pasangan data,

6 = konstanta (angka konstan).

Nilai koefisien korelasi rank Spearman berkisar antara -1 hingga +1, dengan interpretasi sebagai berikut (Gogtay & Thatte, 2017):

1. Nilai +1 menunjukkan korelasi positif sempurna, artinya semua data dari kedua variabel terletak pada garis lurus dengan kemiringan positif.
2. Nilai -1 menunjukkan korelasi negatif sempurna, artinya semua data dari kedua variabel terletak pada garis lurus dengan kemiringan negatif.
3. Nilai 0 menunjukkan tidak ada korelasi antara kedua variabel.

4. Nilai antara 0 sampai +1 menunjukkan tingkat korelasi positif, semakin mendekati +1 artinya korelasi semakin kuat.
5. Nilai antara 0 sampai -1 menunjukkan tingkat korelasi negatif, semakin mendekati -1 artinya korelasi negatif semakin kuat.

Pemaknaan terhadap nilai koefisien korelasi Spearman memerlukan klasifikasi yang terstruktur agar hasil analisis dapat ditafsirkan secara tepat. Penentuan tingkat kekuatan hubungan antara dua variabel tidak cukup hanya berdasarkan besar kecilnya nilai ρ , melainkan perlu dirujuk pada kategori yang telah distandarkan dalam literatur statistik. Klasifikasi ini berfungsi sebagai pedoman dalam mengidentifikasi apakah korelasi yang diperoleh menunjukkan hubungan yang lemah, sedang, atau kuat antar variabel yang dibandingkan. Penggunaan klasifikasi tersebut sangat penting dalam konteks validasi metode pembobotan untuk menilai tingkat kesesuaian antara struktur peringkat kriteria dari metode yang diuji. Panduan ini dirangkum dalam Tabel 2.5 yang menyajikan kategori tingkat hubungan berdasarkan rentang nilai koefisien korelasi Rank Spearman nilai positif dan dirangkum pada Tabel 2.6 yang menyajikan kategori tingkat hubungan berdasarkan rentang nilai koefisien korelasi Rank Spearman nilai negatif (Akoglu, 2018).

Tabel 2.5 Tabel koefisien korelasi rank Spearman nilai positif.

Koefisien ρ	Tingkat Hubungan	Arti
0,00 – 0,19	Hubungan Sangat Lemah	Hampir tidak ada hubungan antara variabel-variabel.
0,20 – 0,39	Hubungan Lemah	Hubungan lemah dan tidak konsisten antara variabel-variabel.
0,40 – 0,59	Hubungan Sedang	Hubungan moderat antara variabel-variabel; perubahan di satu variabel cenderung diikuti oleh perubahan di variabel lain.
0,60 – 0,79	Hubungan Kuat	Hubungan yang jelas dan signifikan antara variabel-variabel.
0,80 – 1,00	Hubungan Sangat Kuat	Hubungan sangat kuat dan hampir sempurna antara variabel-variabel.

Tabel 2.5 berperan sebagai acuan dalam menginterpretasikan kekuatan hubungan antar variabel, khususnya dalam analisis kesesuaian peringkat kriteria

hasil pembobotan. Penerapan klasifikasi ini menjadi penting ketika korelasi digunakan untuk mengevaluasi konsistensi struktur peringkat antara dua metode atau lebih. Interpretasi nilai koefisien ρ yang diperoleh dari uji Spearman memungkinkan peneliti menilai sejauh mana suatu metode menghasilkan hasil yang sejalan atau bertolak belakang dengan pendekatan lain. Tingkat keseragaman dalam peringkat kriteria mencerminkan validitas relatif dari metode yang diuji. Nilai ρ yang semakin mendekati +1 menunjukkan peningkatan kesamaan pola peringkat dan memberikan dasar kuat bahwa metode tersebut menyajikan hasil yang stabil dan dapat diandalkan.

Tabel 2.6 Tabel koefisien korelasi rank Spearman nilai negatif.

Koefisien ρ	Tingkat Hubungan	Arti
-0,19 – 0,00	Hubungan Sangat Lemah	Hampir tidak ada hubungan antara variabel-variabel.
-0,39 – -0,20	Hubungan Lemah	Hubungan lemah dan tidak konsisten antara variabel-variabel; cenderung berubah-ubah dan tidak stabil.
-0,59 – -0,40	Hubungan Sedang	Hubungan moderat negatif antara variabel-variabel; peningkatan satu variabel cenderung diikuti penurunan pada variabel lainnya.
-0,79 – -0,60	Hubungan Kuat	Hubungan negatif yang jelas dan signifikan; nilai satu variabel meningkat saat variabel lainnya menurun secara konsisten.
-1,00 – -0,80	Hubungan Sangat Kuat	Hubungan negatif sangat kuat dan hampir sempurna antara variabel-variabel; sepenuhnya berlawanan arah.

Tabel 2.6 berperan sebagai acuan dalam menginterpretasikan kekuatan dan arah hubungan negatif antar variabel, khususnya dalam analisis kesesuaian peringkat kriteria hasil pembobotan. Klasifikasi ini menjadi relevan ketika korelasi digunakan untuk mengevaluasi perbedaan struktur peringkat antara dua metode atau pendekatan yang diuji. Interpretasi nilai koefisien ρ negatif dari uji Spearman memungkinkan peneliti memahami sejauh mana suatu metode menghasilkan peringkat yang bertolak belakang dengan metode pembandingan. Semakin mendekati -1, maka semakin besar ketidaksesuaian pola peringkat yang dihasilkan antar metode, yang mengindikasikan bahwa pendekatan yang dibandingkan mungkin

berangkat dari asumsi, logika, atau prinsip dasar yang berbeda secara fundamental. Nilai ρ negatif mencerminkan tingkat ketidaksesuaian atau kontradiksi dalam hasil pemeringkatan. Pemahaman terhadap hubungan negatif ini penting untuk menilai konsistensi logis, kesesuaian aplikasi metode, dan keandalan hasil keputusan. Nilai koefisien yang mendekati -1 dapat menjadi indikator bahwa perlu dilakukan penelaahan lebih lanjut terhadap metodologi yang digunakan, atau menilai apakah tujuan analisis memang dimaksudkan untuk membandingkan pendekatan yang bersifat saling berlawanan.

Penggunaan korelasi rank Spearman dalam analisis statistik non-parametrik merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel dalam bentuk peringkat. Metode ini memiliki keunggulan karena fleksibel terhadap data yang tidak memenuhi asumsi distribusi normal maupun hubungan linier. Namun demikian, agar hasil analisis yang diperoleh memiliki validitas dan interpretasi yang sah, yakni dapat diterima secara ilmiah karena logis, tepat, dan sesuai kaidah statistik, maka terdapat sejumlah syarat dasar yang harus dipenuhi. Syarat-syarat penggunaan korelasi rank Spearman ini bertujuan memastikan kesesuaian antara karakteristik data yang dianalisis dengan metode yang diterapkan, sehingga hasil yang diperoleh benar-benar mencerminkan hubungan yang ada antar variabel. Berikut ini disajikan uraian rinci mengenai syarat-syarat tersebut.

1. Data Berbentuk Ordinal atau Dapat Dikonversi Menjadi Peringkat (Rank)

Syarat utama dalam penggunaan korelasi Spearman adalah bahwa data yang dianalisis harus berada dalam skala ordinal, yaitu data yang menunjukkan urutan atau peringkat, tanpa memperhatikan jarak antar nilai. Namun demikian, korelasi Spearman juga dapat digunakan pada data numerik (rasio atau interval) selama data tersebut dapat dikonversi menjadi bentuk peringkat. Sebagai contoh, skor hasil pembobotan kriteria dalam metode pengambilan keputusan dapat diubah ke dalam bentuk peringkat berdasarkan urutan dari nilai tertinggi hingga terendah. Proses konversi ini memungkinkan metode Spearman untuk mengukur hubungan tidak berdasarkan nilai absolut, tetapi berdasarkan pola urutan antar variabel. Penggunaan peringkat ini sangat sesuai ketika hubungan

antar variabel lebih bermakna dalam konteks kecenderungan (tren) daripada selisih nilai.

2. Hubungan Monotonik antara Variabel

Korelasi Spearman tidak mengasumsikan hubungan linier antar variabel seperti halnya korelasi Pearson. Namun, hubungan antar variabel yang dianalisis harus bersifat monotonik, artinya perubahan nilai pada satu variabel selalu diikuti oleh perubahan yang searah pada variabel lainnya. Hubungan ini bisa bersifat monoton meningkat (positif) atau monoton menurun (negatif), di mana peningkatan nilai pada satu variabel secara konsisten menyebabkan peningkatan atau penurunan pada variabel lain, tanpa fluktuasi arah yang tidak teratur. Syarat monotonik ini penting karena esensi dari metode Spearman adalah mengevaluasi kestabilan arah perubahan peringkat, bukan besarnya perubahannya. Jika hubungan antara dua variabel tidak monotonik, maka nilai koefisien Spearman dapat menjadi bias atau tidak mencerminkan hubungan yang sebenarnya.

3. Tidak Memerlukan Distribusi Normal

Salah satu keunggulan korelasi Spearman adalah sifatnya yang non-parametrik, yang berarti metode ini tidak mengharuskan data mengikuti distribusi normal. Dengan demikian, Spearman sangat berguna untuk data yang menyimpang dari distribusi normal, mengandung pencilan, atau memiliki distribusi yang asimetris. Hal ini menjadikan Spearman sebagai pilihan utama dalam analisis hubungan ketika asumsi-asumsi parametrik tidak dapat dipenuhi. Dalam penelitian sosial, ekonomi, dan manajemen, seringkali data yang dikumpulkan tidak berdistribusi normal karena berbagai faktor eksternal. Oleh karena itu, penggunaan Spearman memungkinkan analisis yang tetap sah dan robust terhadap distribusi data yang tidak ideal.

4. Tidak Ada Banyak Ties (Nilai yang Sama)

Korelasi Spearman mengandalkan proses perankingan, sehingga adanya nilai yang sama (ties) dapat memengaruhi akurasi perhitungan koefisien. Dalam kasus terdapat dua atau lebih nilai yang identik dalam satu variabel, penentuan peringkat dilakukan dengan cara menghitung rata-rata dari peringkat yang

seharusnya ditempati oleh nilai-nilai tersebut. Misalnya, jika dua nilai sama-sama menduduki posisi ke-3 dan ke-4, maka keduanya diberi peringkat 3,5. Walaupun prosedur ini valid secara statistik, jumlah ties yang terlalu banyak dapat menyebabkan hilangnya variasi dalam data, yang pada akhirnya menurunkan sensitivitas koefisien korelasi dalam mendeteksi pola hubungan. Oleh karena itu, meskipun Spearman masih dapat digunakan ketika terdapat ties, jumlah dan dampaknya terhadap hasil analisis perlu dipertimbangkan secara cermat dalam interpretasi akhir.

Penerapan uji korelasi Rank Spearman dalam penelitian ini dilakukan untuk memvalidasi bobot kriteria yang diperoleh melalui metode BED. Validasi dilakukan dengan membandingkan urutan peringkat kriteria dari metode BED terhadap hasil peringkat yang diperoleh dari metode AHP, BWM, dan Entropy. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat konsistensi antara pendekatan integratif yang ditawarkan oleh BED dengan pendekatan lain yang bersifat subjektif maupun objektif. Nilai koefisien ρ yang mendekati angka 1 menjadi indikator bahwa struktur peringkat dari metode BED memiliki derajat kesamaan yang tinggi dengan metode pembandingan. Hal ini memperkuat argumen bahwa integrasi pendekatan subjektif, objektif, dan pengelolaan ketidakpastian yang diusung dalam metode BED menghasilkan evaluasi yang valid secara komputasional dan kredibel secara konseptual.

2.2.7 Analisis Sensitivitas dalam Pengambilan Keputusan Multikriteria

Analisis sensitivitas merupakan salah satu komponen yang digunakan dalam kerangka *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) untuk menilai ketahanan hasil keputusan terhadap perubahan pada parameter input, khususnya bobot kriteria. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memastikan bahwa hasil akhir keputusan tetap stabil dan andal meskipun terjadi variasi atau ketidakpastian dalam data yang digunakan, baik yang bersumber dari preferensi subjektif pakar maupun data objektif (Chen et al., 2013).

Proses pengambilan keputusan multikriteria menempatkan bobot kriteria sebagai elemen utama dalam menentukan urutan prioritas alternatif. Nilai bobot

tersebut sering kali bersifat subjektif, bergantung pada konteks penilaian, persepsi individu, serta latar belakang pengalaman pengambil keputusan. Evaluasi terhadap dampak perubahan bobot menjadi penting untuk mengidentifikasi kriteria yang paling responsif terhadap perubahan serta mengukur sejauh mana modifikasi kecil dapat memengaruhi kestabilan struktur keputusan secara menyeluruh (Demir et al., 2024).

Analisis sensitivitas berfungsi untuk mengevaluasi tingkat kestabilan bobot kriteria yang diperoleh dari suatu metode pengambilan keputusan. Pendekatan ini bertujuan mengkaji apakah perubahan nilai pada satu kriteria dominan dapat memengaruhi keseimbangan struktur bobot secara keseluruhan. Evaluasi dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu secara langsung dengan mengubah nilai bobot kriteria tertentu, serta secara tidak langsung melalui penyesuaian parameter input seperti elemen dalam matriks perbandingan berpasangan. Hasil dari proses ini tidak hanya menunjukkan kriteria mana yang paling berpengaruh terhadap hasil akhir, tetapi juga memberikan gambaran mengenai keandalan dan transparansi metode yang digunakan. Penerapan analisis sensitivitas memiliki nilai strategis dalam penelitian MCDM, namun masih jarang diterapkan secara eksplisit. Studi oleh yang dilakukan oleh (Hasanzadeh et al., 2023) mencatat bahwa hanya sekitar 9,5% penelitian MCDM yang secara metodologis mencantumkan analisis sensitivitas sebagai bagian dari evaluasi model. Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi risiko dalam pengambilan keputusan strategis, terutama jika pengaruh variasi bobot diabaikan, karena distorsi hasil dapat terjadi tanpa disadari.

Analisis sensitivitas memiliki peran penting dalam MCDM berbasis preferensi, terutama ketika dihadapkan pada kompleksitas pengambilan keputusan yang melibatkan ketidakpastian dari berbagai parameter secara simultan. Ketidakpastian tersebut tidak selalu terbatas pada satu variabel, melainkan dapat terjadi pada beberapa aspek secara bersamaan, seperti preferensi pakar, data input, atau struktur model. Penggunaan pendekatan simulasi berbasis skenario, sebagaimana diterapkan dalam penelitian ini, memberikan kerangka kerja yang kuat untuk mengevaluasi daya tahan dan konsistensi metode terhadap perubahan kondisi. Pendekatan ini juga memungkinkan peneliti mengidentifikasi batas toleransi model

serta menguji seberapa adaptif metode yang digunakan ketika preferensi atau asumsi awal mengalami pergeseran (Wulf & Bertsch, 2017). Penerapan strategi ini menjadi relevan dalam memastikan bahwa hasil keputusan yang dihasilkan tetap dapat diandalkan dalam konteks yang dinamis.

Secara keseluruhan, analisis sensitivitas bukan hanya berfungsi sebagai alat evaluasi tambahan, melainkan sebagai elemen integral dalam pengujian keandalan model MCDM. Penerapannya dalam penelitian ini tidak hanya meningkatkan validitas internal hasil evaluasi keberlanjutan UMKM, tetapi juga memperkuat posisi sebuah metode sebagai pendekatan yang adaptif dan realistis dalam menghadapi ketidakpastian yang melekat dalam proses pengambilan keputusan.

2.3 Systematic Literature Review (SLR)

Kajian literatur sistematis (SLR) merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menelaah secara mendalam berbagai penelitian terdahulu yang relevan, baik dari sisi substansi kriteria keberlanjutan UMKM maupun pendekatan metodologi pengambilan keputusan multikriteria. SLR dilakukan secara terstruktur dan transparan guna menjamin akurasi, keberulangan, serta validitas dalam merumuskan kerangka teoretis dan pengembangan metode. Pendekatan ini dipilih agar penelitian memiliki landasan konseptual yang kuat, dengan memastikan bahwa variabel dan teknik analisis yang digunakan memang telah mendapatkan justifikasi empiris dari literatur terdahulu.

SLR dalam penelitian ini dibagi menjadi dua fokus utama. Pertama, SLR dilakukan untuk mengidentifikasi variabel kunci keberlanjutan UMKM yang bersifat multidimensi dan relevan dengan konteks lokal Indonesia. Kedua, dilakukan kajian sistematis terhadap literatur yang mengembangkan integrasi metode BED, baik secara terpisah maupun terintegrasi. Hasil dari dua kajian ini digunakan untuk menyusun struktur indikator keberlanjutan serta merumuskan metodologi penilaian yang adaptif dalam konteks ketidakpastian, yaitu metode BED. Seluruh proses SLR mengikuti tahapan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), dimulai dari identifikasi artikel, penyaringan, hingga sintesis akhir literatur yang digunakan.

2.3.1 SLR Identifikasi Kriteria

Kajian literatur sistematis pertama dalam penelitian ini difokuskan pada identifikasi kriteria keberlanjutan UMKM yang telah dikaji secara empiris dalam berbagai literatur ilmiah. Tujuannya adalah untuk memperoleh daftar variabel utama yang valid dan representatif sebagai dasar penyusunan instrumen evaluasi. Indikator yang digunakan dalam penelitian ini bukan semata hasil asumsi konseptual, tetapi merupakan hasil sintesis dari temuan studi sebelumnya yang relevan dan telah diuji.

Proses identifikasi ini berkontribusi langsung pada penguatan validitas isi (*content validity*) dari instrumen yang dikembangkan. Selain itu, pendekatan sistematis yang digunakan dalam kajian ini memberikan kerangka kerja yang logis dan berbasis bukti dalam menetapkan delapan kriteria keberlanjutan yang menjadi fondasi dalam metode BED. Hasil akhir dari proses ini digunakan sebagai input awal sebelum dilakukan validasi pakar, sekaligus menjamin bahwa variabel yang diadopsi memiliki dasar empiris dan relevansi konteks dengan kondisi UMKM di Indonesia.

2.3.1.1 Database dan Kata Kunci

Proses pencarian literatur dilakukan melalui empat basis data ilmiah bereputasi, yaitu Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, dan ProQuest, dengan cakupan publikasi antara tahun 2020 hingga 2024. Rentang waktu ini dipilih untuk memastikan bahwa referensi yang diperoleh mencerminkan perkembangan metodologis dan konseptual terkini dalam studi keberlanjutan UMKM.

Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci: "MSME" OR "SME" OR "UMKM" AND "*sustainability*" AND ("*financial*" OR "*economic*" OR "*operational*" OR "*market*" OR "*innovation*" OR "*social*" OR "*environmental*" OR "*resilience*"). Kombinasi ini disusun untuk menjangkau literatur yang membahas entitas usaha kecil dan menengah, serta mengaitkannya dengan aspek-aspek keberlanjutan yang sesuai dengan delapan kriteria yang digunakan dalam penelitian ini.

Strategi kata kunci yang digunakan dirancang tidak hanya untuk menangkap istilah umum seperti UMKM atau SME, tetapi juga memastikan bahwa artikel yang diperoleh membahas secara eksplisit dimensi keberlanjutan yang relevan. Pendekatan ini memungkinkan proses seleksi yang lebih terarah dan fokus terhadap literatur yang benar-benar mendukung perumusan indikator keberlanjutan dalam konteks UMKM.

2.3.1.2 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Penetapan kriteria inklusi dan eksklusi dalam kajian literatur sistematis ini bertujuan untuk menyaring artikel-artikel yang benar-benar relevan secara tematik dan metodologis dengan fokus penelitian. Langkah ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap literatur yang digunakan memberikan kontribusi signifikan dalam penyusunan variabel keberlanjutan UMKM. Penerapan standar seleksi yang sistematis ini sekaligus menghindarkan proses review dari bias dan subjektivitas, serta memperkuat kredibilitas dan transparansi metodologi SLR.

Kriteria inklusi dan eksklusi diformulasikan untuk mengarahkan seleksi hanya pada studi yang benar-benar membahas dimensi keberlanjutan secara relevan dengan konteks UMKM. Literatur yang dipilih tidak hanya mencerminkan pendekatan teoritis, tetapi juga harus menyajikan temuan empiris atau pembahasan konseptual yang kuat dalam kerangka keberlanjutan usaha kecil dan menengah. Dengan cara ini, seluruh proses seleksi literatur menjadi lebih terarah, dapat ditelusuri, dan layak dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Kriteria ini ditetapkan sebelum proses penelaahan dimulai, guna menjaga konsistensi dalam seleksi dan memberikan kerangka acuan yang objektif untuk menilai kesesuaian isi artikel dengan tujuan penelitian. Hasil akhir SLR tidak hanya valid secara metodologis, tetapi juga dapat ditelusuri secara akademik. Kriteria inklusi yang digunakan dalam penelitian ini dirumuskan berdasarkan karakteristik artikel ilmiah yang layak untuk dianalisis secara sistematis, dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Artikel diterbitkan dalam jurnal ilmiah bereputasi dan telah melalui proses *peer-review*.

2. Topik kajian berkaitan secara langsung dengan keberlanjutan UMKM atau SME, baik dalam konteks kebijakan, strategi pengelolaan, maupun penerapan praktik keberlanjutan.
3. Menjelaskan secara eksplisit satu atau lebih dari delapan dimensi keberlanjutan, yaitu ekonomi, keuangan, operasional, pasar, inovasi dan adaptasi, sosial, lingkungan, serta ketahanan usaha.
4. Terbit dalam kurun waktu 2020–2024, untuk menjamin keterkinian pendekatan dan data yang digunakan.
5. Tersedia dalam bentuk *full-text*, ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris.

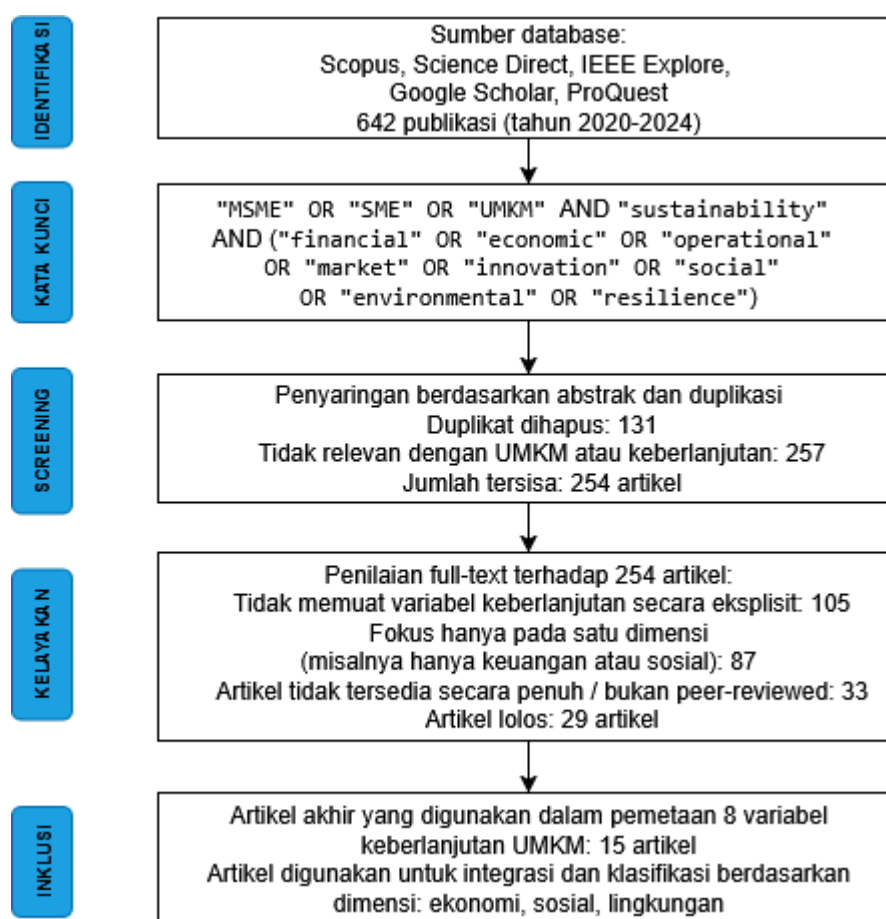
Sebaliknya, kriteria eksklusi dirancang untuk mengecualikan artikel yang tidak memenuhi standar ilmiah dan relevansi substansi. Artikel dikeluarkan dari analisis apabila:

1. Berupa opini, esai naratif, artikel populer, atau tidak mengandung metode ilmiah yang dapat diverifikasi.
2. Tidak tersedia secara penuh, atau hanya tersedia dalam bentuk abstrak, sehingga tidak dapat dianalisis secara komprehensif.
3. Tidak menyebutkan isu keberlanjutan secara eksplisit, atau pembahasannya tidak relevan dengan konteks UMKM.
4. Memfokuskan kajian pada perusahaan besar, korporasi multinasional, atau entitas non-UMKM yang tidak dapat dialihkan secara langsung ke konteks penelitian ini.
5. Merupakan duplikasi dari artikel lain tanpa kontribusi baru, atau sekadar *review* umum tanpa kedalaman metodologis.

2.3.1.3 Diagram PRISMA Identifikasi Kriteria

Visualisasi alur proses kajian literatur sistematis pada penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram PRISMA. Diagram ini menggambarkan secara terstruktur dan berurutan tahapan-tahapan utama dalam SLR, meliputi identifikasi awal sumber literatur, penyaringan (*screening*), penilaian kelayakan (*eligibility*), hingga penetapan artikel yang terinklusi dalam analisis akhir.

Penggunaan diagram PRISMA bertujuan untuk meningkatkan transparansi, keterlacakan, dan akuntabilitas proses seleksi referensi ilmiah, serta memudahkan pembaca dalam memahami alur penyusunan dasar teoritis variabel keberlanjutan UMKM. Diagram ini mendokumentasikan seluruh proses seleksi artikel dari awal pencarian hingga pemilihan akhir, serta mendukung validitas proses identifikasi indikator yang akan digunakan dalam metode BED. Diagram PRISMA identifikasi kriteria disajikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram PRISMA Identifikasi Kriteria.

Gambar 2.5 menyajikan alur proses SLR menggunakan pendekatan PRISMA untuk menyeleksi dan mengidentifikasi artikel-artikel ilmiah yang relevan dengan delapan dimensi keberlanjutan UMKM. Proses ini dilakukan secara sistematis dan berjenjang untuk menjamin keterlacakan, akurasi, dan relevansi referensi yang digunakan sebagai dasar pengembangan instrumen penelitian.

Pada tahap identifikasi, dilakukan pencarian literatur dari lima basis data ilmiah utama, yaitu Scopus, ScienceDirect, IEEE Explore, Google Scholar, dan ProQuest, dengan cakupan publikasi antara tahun 2020 hingga 2024. Kata kunci pencarian dirancang untuk menjaring artikel yang memuat istilah umum seperti “MSME”, “SME”, atau “UMKM” dan dikombinasikan dengan kata kunci keberlanjutan seperti “sustainability”, serta berbagai dimensi yang diasosiasikan dengan keberlanjutan, termasuk financial, economic, operational, market, innovation, social, environmental, dan resilience. Hasil pencarian awal menghasilkan 642 publikasi.

Tahap berikutnya adalah screening, yaitu penyaringan berdasarkan abstrak dan penghapusan artikel duplikat. Sebanyak 131 artikel duplikat dihapus, dan 257 artikel lainnya dieliminasi karena tidak relevan dengan topik UMKM atau tidak mengandung pembahasan tentang keberlanjutan. Setelah proses ini, tersisa 254 artikel untuk ditinjau lebih lanjut. Selanjutnya, tahap kelayakan dilakukan melalui evaluasi penuh terhadap isi artikel. Dari 254 artikel, sebanyak 105 artikel tidak membahas variabel keberlanjutan secara eksplisit, sementara 87 artikel lainnya hanya membahas satu dimensi saja (misalnya hanya sosial atau keuangan), sehingga tidak memenuhi kriteria keberlanjutan yang holistik. Terdapat 33 artikel yang tidak tersedia dalam versi lengkap atau tidak memenuhi syarat akademik karena belum ditinjau sejawat (peer-reviewed). Dari hasil seleksi ini, hanya 29 artikel yang dinyatakan lolos sebagai sumber utama yang relevan.

Pada tahap akhir, yaitu inklusi, dilakukan penyaringan akhir untuk memastikan kesesuaian substansi dengan fokus penelitian. Dari 29 artikel yang lolos, sebanyak 15 artikel digunakan secara langsung untuk pemetaan delapan variabel keberlanjutan UMKM, dan 14 artikel tambahan digunakan sebagai referensi pendukung untuk memperkuat dimensi keberlanjutan yang telah diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama: ekonomi, sosial, dan lingkungan. Proses ini menunjukkan bahwa pemilihan variabel dalam penelitian ini telah dilakukan secara sistematis dan bertanggung jawab, bukan berdasarkan keputusan tanpa dasar yang jelas, melainkan melalui tahapan seleksi literatur yang terukur.

2.3.1.4 Ringkasan Temuan dan Sintesis Literatur

Hasil kajian literatur sistematis yang telah dilakukan pada subbab sebelumnya menghasilkan delapan dimensi utama keberlanjutan yang dianggap paling relevan dalam konteks UMKM. Setiap dimensi keberlanjutan diuraikan ke dalam variabel-variabel kunci yang secara konsisten muncul dalam berbagai publikasi ilmiah, baik yang bersifat teoritis maupun empiris. Sintesis ini tidak hanya membantu dalam membentuk kerangka konseptual penilaian keberlanjutan UMKM, tetapi juga memastikan bahwa variabel yang digunakan memiliki dasar ilmiah yang kuat dan kontekstual. Referensi yang digunakan dalam tabel telah diseleksi melalui proses kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat, sebagaimana dijelaskan sebelumnya. Ringkasan dimensi keberlanjutan UMKM berdasarkan kajian literatur sistematis disajikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Ringkasan Dimensi Keberlanjutan UMKM Berdasarkan Kajian Literatur Sistematis.

Dimensi Keberlanjutan	Variabel Kunci	Referensi
Finansial	Akses modal, manajemen keuangan	(Kumar et al., 2024; Okolo et al., 2023)
Ekonomi	Pendapatan, profitabilitas	(Bhatti et al., 2023b; Kwak et al., 2023)
Operasional	Persediaan SDM, integrasi teknologi	(Abdullah et al., 2023; Febriani et al., 2025)
Pasar	Branding, kepuasan pelanggan	(Kwak et al., 2023; Santolin et al., 2023)
Inovasi dan Adaptasi	Adopsi teknologi, inovasi produk	(Canhoto et al., 2021; Chatterjee et al., 2022)
Sosial	Kesejahteraan, keterlibatan komunitas	(Z. Liu et al., 2022; Yadegaridehkordi et al., 2023)
Lingkungan	Energi, limbah, kebijakan lingkungan	(Mendes et al., 2022b)
Ketahanan keuangan	Rasio cadangan, stabilitas finansial	(Pylaeva et al., 2022; Yunus et al., 2025)

Tabel 2.7 menjelaskan bahwa keberlanjutan UMKM tidak hanya ditentukan oleh aspek ekonomi dalam arti sempit, tetapi juga mencakup dimensi lain seperti finansial, operasional, pasar, sosial, dan lingkungan. Dimensi finansial menekankan pentingnya akses terhadap modal dan kemampuan dalam mengelola keuangan

secara efektif. Dimensi ekonomi berfokus pada indikator kinerja seperti pendapatan dan profitabilitas. Aspek operasional mencakup efisiensi rantai pasok dan integrasi teknologi dalam proses bisnis. Dimensi pasar menyoroti peran branding dan kepuasan pelanggan sebagai faktor keberlanjutan eksternal. Inovasi dan adaptasi diperlukan agar UMKM mampu bertahan dalam menghadapi perubahan lingkungan usaha. Dimensi sosial dan lingkungan menunjukkan bahwa keberlanjutan tidak dapat dilepaskan dari kontribusi terhadap masyarakat serta tanggung jawab terhadap lingkungan sekitar. Ketahanan keuangan menjadi faktor penting untuk menilai stabilitas usaha dalam menghadapi risiko jangka panjang. Kombinasi kedelapan dimensi ini memberikan kerangka yang lebih komprehensif dan holistik dalam mengevaluasi keberlanjutan UMKM secara konseptual maupun praktis.

Hasil kajian SLR ini mengonfirmasi bahwa delapan kriteria yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dasar literatur yang kuat dan telah dibahas secara luas dalam konteks UMKM dan keberlanjutan. Masing-masing variabel mencerminkan dimensi yang penting dalam menilai keberlanjutan usaha kecil dan menengah, baik dari perspektif internal (keuangan, operasional, inovasi) maupun eksternal (pasar, sosial, lingkungan). Dengan menggunakan pendekatan PRISMA dalam SLR, proses pemilihan sumber menjadi transparan, terstruktur, dan terdokumentasi secara sistematis, sehingga pembaca dapat memahami alur seleksi sumber secara menyeluruh serta memperoleh pemahaman yang kuat tentang dasar pertimbangan ilmiah dalam pemilihan literatur.

2.3.2 SLR Integrasi Metode BED

Pelaksanaan kajian literatur sistematis kedua dalam penelitian ini difokuskan pada telaah terhadap pendekatan pengambilan keputusan berbasis metode MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*), khususnya yang melibatkan metode BWM, Entropy, dan D numbers, baik secara individual maupun integratif. Tujuan utama dari SLR ini adalah untuk memberikan dasar konseptual yang kuat bagi pengembangan metode BED (BWM–Entropy–D numbers), serta membuktikan bahwa integrasi ketiga metode ini merupakan respons terhadap keterbatasan

pendekatan tunggal yang umum digunakan dalam pengambilan keputusan multikriteria. Kajian ini juga menjadi langkah awal dalam justifikasi akademik bahwa pendekatan terintegrasi mampu memberikan solusi yang lebih komprehensif dalam konteks keberlanjutan UMKM yang penuh ketidakpastian.

Kajian literatur ini dirancang untuk menjawab pertanyaan kritis, yaitu: apakah integrasi metode BWM, Entropy, dan D numbers secara metodologis telah digunakan dalam studi-studi terdahulu, dan sejauh mana efektivitasnya dalam menangani pengambilan keputusan yang melibatkan dimensi subjektif, objektif, dan ketidakpastian secara bersamaan? Selain itu, SLR ini juga bertujuan untuk mengeksplorasi tren penggunaan pendekatan hybrid dalam MCDM, serta mengidentifikasi kekosongan riset (*research gap*) yang dapat dijadikan landasan bagi pengembangan metode BED dalam konteks keberlanjutan UMKM.

2.3.2.1 Database dan Kata Kunci

Proses pencarian literatur dilakukan melalui lima basis data ilmiah utama, yaitu Scopus, ScienceDirect, IEEE Explore, Google Scholar, dan ProQuest, dengan rentang publikasi dari tahun 2020 hingga 2024. Rentang ini dipilih untuk memastikan bahwa literatur yang dikaji mencerminkan tren dan pengembangan terkini dalam metode pengambilan keputusan multikriteria berbasis integrasi pendekatan subjektif, objektif, dan ketidakpastian. Selain itu, rentang waktu ini juga relevan karena mencerminkan kemunculan metode BWM, perluasan penggunaan Entropy, dan peningkatan pemanfaatan D numbers dalam studi pengambilan keputusan berbasis ketidakpastian. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci "BWM" AND "Entropy", "Entropy" AND "D numbers", "BWM" AND "D numbers", "hybrid MCDM" OR "integrated decision-making", "uncertainty in MCDM", "decision model" AND "sustainability".

Penggunaan kata kunci tersebut dirancang secara strategis untuk menjangkau literatur yang secara langsung maupun tidak langsung relevan dengan penggabungan ketiga metode (BWM, Entropy, D numbers) dalam konteks pengambilan keputusan multikriteria (MCDM). Selain itu, beberapa kata kunci tambahan seperti "uncertainty" dan "sustainability" digunakan untuk memperluas

cakupan pada studi-studi yang menekankan pada dimensi ketidakpastian dan penerapan pada domain keberlanjutan, khususnya di sektor UMKM atau bidang serupa yang membutuhkan evaluasi multikriteria secara kompleks.

Penerapan kata kunci dilakukan dengan menggunakan fitur pencarian lanjutan (*advanced search*) dan operator Boolean (AND, OR) untuk mendapatkan hasil pencarian yang lebih terfokus dan relevan. Proses pencarian menghasilkan total 312 publikasi awal, yang kemudian disaring menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi sebagaimana dijelaskan pada subbab berikutnya.

2.3.2.2 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Penetapan kriteria inklusi dan eksklusi dalam kajian literatur sistematis ini dilakukan untuk menyaring artikel-artikel ilmiah yang memiliki relevansi langsung dengan pengembangan integrasi metode BWM, Entropy, dan D numbers, baik sebagai pendekatan tunggal maupun gabungan dalam konteks pengambilan keputusan multikriteria (MCDM). Tujuan dari langkah ini adalah memastikan bahwa literatur yang dianalisis memberikan kontribusi nyata, baik secara konseptual maupun aplikatif, terhadap fondasi pengembangan metode BED.

Penerapan kriteria seleksi yang ketat dan sistematis berperan penting dalam mencegah bias subjektif, menjaga objektivitas selama proses telaah, serta memperkuat validitas ilmiah dan keterlacakan (*traceability*) hasil SLR. Kriteria ini dirumuskan secara eksplisit sebelum proses peninjauan artikel dimulai. Dalam konteks ini, literatur yang terpilih diharapkan tidak hanya membahas metode secara terpisah, tetapi juga menunjukkan potensi integrasi atau sinergi antara BWM, Entropy, dan D numbers, baik dalam aspek teknik, pendekatan, maupun konteks aplikasi, terutama dalam pengambilan keputusan yang mengandung ketidakpastian. Kriteria inklusi ditetapkan sebagai berikut:

1. Artikel dipublikasikan dalam jurnal ilmiah bereputasi dan telah melalui proses *peer-review*.
2. Membahas secara eksplisit metode BWM, Entropy, D numbers, atau kombinasi integratifnya dalam konteks MCDM.
3. Menyajikan studi empiris, studi kasus, atau aplikasi nyata dalam proses

pengambilan keputusan multikriteria.

4. Diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2024, untuk memastikan keterkinian dan relevansi temuan terhadap praktik dan literatur mutakhir.
5. Tersedia dalam bentuk full-text, baik dalam bahasa Inggris maupun Indonesia, serta dapat diakses secara lengkap.

Kriteria eksklusi ditetapkan untuk menyaring artikel yang tidak memenuhi kelayakan substansi dan kualitas ilmiah sebagai berikut:

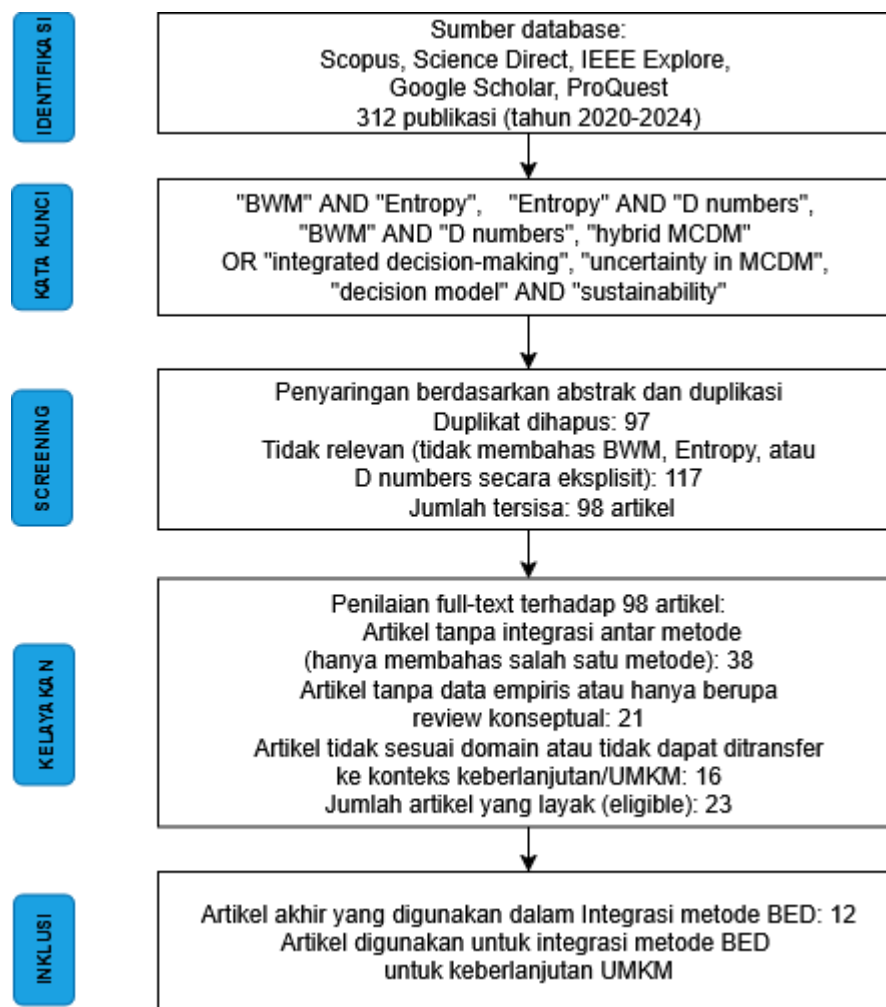
1. Artikel yang berupa opini, esai naratif, editorial, atau publikasi populer yang tidak berbasis pendekatan ilmiah.
2. Artikel yang tidak menyebutkan secara eksplisit metode BWM, Entropy, atau D numbers, atau hanya menyebutnya tanpa pembahasan teknis/metodologis.
3. Artikel yang tidak menyajikan data empiris atau metodologi terapan yang dapat digunakan sebagai dasar integrasi metode.
4. Artikel dengan fokus pada domain atau sektor yang terlalu sempit dan tidak relevan dengan konteks keberlanjutan UMKM atau sistem pengambilan keputusan secara umum.
5. Artikel yang tidak tersedia secara penuh (bukan *full-text*), belum *peer-reviewed*, atau berasal dari sumber yang tidak kredibel secara akademik.

Penetapan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat, kajian literatur ini mampu menghasilkan landasan ilmiah yang solid dan terukur untuk mendukung pengembangan metode BED sebagai pendekatan integratif yang lebih komprehensif dalam pengambilan keputusan multikriteria. Hal ini sekaligus memperkuat keabsahan model yang dikembangkan dalam penelitian serta meningkatkan kontribusi akademik dalam bidang sistem pendukung keputusan berbasis keberlanjutan.

2.3.2.3 Diagram PRISMA Integrasi Metode BED

Proses seleksi literatur pada kajian SLR integrasi metode BED (BWM–Entropy–D numbers) divisualisasikan dalam Diagram PRISMA. Diagram ini digunakan untuk menjelaskan alur sistematis dari proses identifikasi hingga inklusi

akhir artikel yang digunakan dalam pengembangan model. Keberadaan diagram PRISMA dalam kajian ini bertujuan untuk menjamin transparansi, replikasi, dan akuntabilitas proses seleksi referensi ilmiah. Diagram PRISMA Integrasi Metode BED disajikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram PRISMA Integrasi Metode BED.

Diagram ini menunjukkan bahwa dari hasil pencarian awal sebanyak 312 artikel, setelah proses penyaringan dan eliminasi berdasarkan abstrak serta full-text, akhirnya diperoleh 12 artikel yang dianggap layak dan relevan sebagai referensi pendukung integrasi metode. Proses seleksi dilakukan secara berjenjang untuk menjamin transparansi dan akuntabilitas, serta mendokumentasikan kontribusi literatur dalam mendasari pengembangan pendekatan BED secara ilmiah.

2.3.2.4 Ringkasan Temuan dan Sintesis Literatur

Hasil kajian literatur sistematis (SLR) dalam bagian ini menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya masih mengandalkan pendekatan metode tunggal dalam proses pengambilan keputusan multikriteria, khususnya pada penggunaan BWM untuk menangkap preferensi pakar dan Entropy sebagai dasar pembobotan objektif berdasarkan variasi data. Meskipun kedua pendekatan tersebut telah terbukti efektif dalam konteks masing-masing, keterbatasan mulai muncul ketika metode ini dihadapkan pada ketidakpastian informasi, ambiguitas linguistik, dan inkonsistensi preferensi pakar.

Penanganan terhadap ketidakpastian masih jarang ditemukan dalam literatur yang menggabungkan BWM dan Entropy secara integratif. Bahkan, pendekatan yang melibatkan D numbers dalam konteks MCDM relatif lebih terbatas, padahal pendekatan ini menawarkan fleksibilitas dalam representasi data linguistik fuzzy serta kemampuan untuk menyerap ambiguitas dan incomplete belief yang lazim dalam pengambilan keputusan berbasis preferensi manusia. Hal ini menjadi celah ilmiah yang signifikan dan sekaligus membuka ruang untuk pengembangan model baru yang lebih responsif terhadap kondisi nyata.

Pengembangan metode BED dalam penelitian ini diarahkan untuk menjembatani kekosongan metodologis tersebut. Integrasi ini dilakukan dengan menyelaraskan tiga perspektif utama: subjektivitas pakar, objektivitas data, dan pengelolaan ketidakpastian informasi, yang masing-masing direpresentasikan oleh metode BWM, Entropy, dan D numbers. Melalui pendekatan ini, proses pembobotan dan penilaian kriteria dalam konteks keberlanjutan UMKM diharapkan menjadi lebih akurat, komprehensif, dan adaptif terhadap dinamika nyata di lapangan. Temuan-temuan utama dari SLR disarikan dalam Tabel 2.8 berikut, yang merangkum peran setiap komponen metode serta referensi pendukungnya.

Tabel 2.8 Temuan dan sintesis literasi integrasi metode BED.

Komponen Metode	Peran Utama dalam Integrasi	Referensi
BWM	Menyediakan bobot preferensi subjektif berdasarkan evaluasi pakar yang efisien dan konsisten	(Gunduz et al., 2021; Huang et al., 2022; Vaezi et al., 2024b)
Entropy	Menetapkan bobot objektif berdasarkan variasi data dalam kriteria; mengurangi bias subjektif	(Thakur et al., 2022; S. Zhang et al., 2023; Zhu et al., 2020)
D numbers	Menangani ketidakpastian dan informasi tidak lengkap dalam proses pengambilan keputusan; mendukung data linguistik dan <i>fuzzy</i>	(Salimi & Edalatpanah, 2020; M. Wang et al., 2023)
Integrasi BWM–Entropy	Menggabungkan keunggulan subjektif dan objektif untuk perhitungan bobot kriteria yang lebih akurat	(S. Liu et al., 2020; Shang et al., 2022; Y. Wu et al., 2023)
Integrasi D numbers dengan MCDM	Digunakan dalam situasi pengambilan keputusan berbasis bukti dengan ketidakpastian; mendukung penyatuan nilai pakar secara <i>fuzzy</i>	(Pamučar et al., 2021; Seiti et al., 2019)
Metode BED (BWM–Entropy–D numbers)	Integrasi dari pendekatan subjektif, objektif, dan ketidakpastian; dikembangkan untuk penilaian keberlanjutan UMKM secara menyeluruh	Pengembangan dalam penelitian ini

Tabel 2.8 menyajikan sintesis temuan hasil kajian literatur sistematis (SLR) yang mendasari pengembangan metode BED, yaitu integrasi dari tiga pendekatan dalam pengambilan keputusan multikriteria: BWM, Entropy, dan D numbers. Masing-masing metode memiliki karakteristik dan peran yang saling melengkapi sehingga ketika digabungkan dapat menghasilkan sistem penilaian yang lebih akurat, objektif, dan adaptif terhadap ketidakpastian. Integrasi ini dimaksudkan untuk menjawab kelemahan pendekatan tunggal yang selama ini digunakan dalam proses evaluasi keberlanjutan UMKM, khususnya dalam konteks pengambilan keputusan berbasis banyak kriteria.

BWM berperan sebagai komponen yang mengakomodasi penilaian subjektif dari para pakar. Metode ini menekankan efisiensi dalam menentukan bobot kriteria dengan hanya memerlukan perbandingan antara kriteria terbaik dan terburuk

terhadap kriteria lainnya. Dibandingkan metode pembobotan lain seperti AHP atau ANP, BWM menawarkan tingkat konsistensi yang lebih tinggi dan beban kognitif yang lebih rendah bagi responden. BWM digunakan untuk merepresentasikan preferensi atau persepsi pakar terhadap prioritas strategis dari masing-masing kriteria dalam konteks keberlanjutan UMKM. Referensi seperti Gunduz et al. (2021), Huang et al. (2022), dan Vaezi et al. (2024b) menunjukkan keberhasilan penerapan BWM dalam berbagai sektor termasuk pengelolaan risiko dan evaluasi keberlanjutan.

Entropy sebagai metode objektif, berfungsi untuk menetapkan bobot kriteria berdasarkan variasi atau tingkat ketidakpastian dalam data. Prinsip dasar dari metode ini adalah bahwa semakin besar variasi suatu kriteria dalam data, maka semakin besar informasi yang dikandungnya, sehingga bobotnya pun lebih tinggi. Entropy berguna untuk menyeimbangkan kecenderungan subjektif dari metode BWM dan memberikan perspektif berbasis data. Dalam penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Thakur et al. (2022), Zhang et al. (2023), dan Zhu et al. (2020), metode Entropy digunakan secara luas dalam sistem penunjang keputusan, terutama untuk konteks yang memerlukan validasi terhadap pembobotan yang tidak bias.

D numbers memberikan kontribusi dalam menangani ketidakpastian, ambiguitas, dan informasi yang tidak lengkap yang sering muncul dalam proses pengambilan keputusan berbasis penilaian pakar. Dibangun dari perluasan teori Dempster-Shafer, D numbers memungkinkan representasi informasi linguistik yang tidak sepenuhnya pasti atau bersifat parsial. Hal ini sangat relevan dalam konteks keberlanjutan UMKM yang kompleks dan dinamis, di mana pakar kerap menghadapi situasi ketidaktahuan atau ambiguitas dalam menilai suatu kondisi. Studi oleh Salimi & Edalatpanah (2020) dan Wang et al. (2023) menegaskan kemampuan D numbers dalam mendukung pengambilan keputusan pada kondisi yang tidak pasti secara realistis.

Integrasi BWM–Entropy bertujuan untuk menggabungkan keunggulan antara evaluasi subjektif dan analisis objektif. Dengan menggabungkan preferensi pakar dari BWM dan hasil objektif dari Entropy, bobot akhir kriteria dapat mencerminkan

keseimbangan antara persepsi manusia dan fakta empiris. Hal ini meningkatkan keandalan dan representativitas pembobotan, seperti dibuktikan dalam penelitian oleh Liu et al. (2020), Shang et al. (2022), dan Wu et al. (2023) yang berhasil menerapkan gabungan ini dalam konteks industri dan manajemen lingkungan.

Integrasi D numbers dengan pendekatan MCDM lainnya seperti TOPSIS, VIKOR, dan AHP telah banyak diteliti untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Penelitian Pamučar et al. (2021) dan Seiti et al. (2019) memperlihatkan bahwa penggunaan D numbers memperkuat proses agregasi preferensi dalam konteks pengambilan keputusan berbasis bukti, terutama ketika data bersifat linguistik atau *fuzzy*.

Pengembangan metode BED dalam penelitian ini memadukan ketiga pendekatan tersebut: BWM untuk aspek subjektif, Entropy untuk dimensi objektif, dan D numbers untuk menangani ketidakpastian informasi. Kombinasi ini menghasilkan sistem evaluasi keberlanjutan yang bersifat integratif, komprehensif, dan adaptif terhadap dinamika kompleks UMKM. Metode ini dikembangkan secara orisinal dalam studi ini dan menjadi kontribusi utama dalam literatur sistem pendukung keputusan berbasis keberlanjutan.