

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Krisis energi dan perubahan iklim global telah menjadi perhatian dunia, dimana pada tahun 2011, *The International Energy Agency* (IEA) merilis bahwa pasokan energi primer secara keseluruhan, yang dikenal sebagai *Total Primary Energy Supply* (TPES), mencapai tingkat tertinggi dalam sejarah, mencapai 13.113 juta ton setara batubara (Mtce), dan menghasilkan pelepasan emisi CO₂ sebanyak 31.342 juta ton. Pelepasan CO₂ ini dianggap sebagai faktor utama yang menyebabkan perubahan iklim global (Zhang et al., 2018). Kekhawatiran telah muncul mengenai pertumbuhan konsumsi energi yang pesat di seluruh dunia, karena hal ini dapat menyebabkan masalah pasokan yang sulit, kehabisan sumber daya energi, dan dampak negatif pada lingkungan seperti penipisan lapisan ozon, pemanasan global, perubahan iklim, dan lain-lain (Owusu and Asumadu-Sarkodie, 2016). IEA telah melaporkan tren konsumsi energi antara tahun 1984 dan 2004, dimana konsumsi energi primer meningkat sebesar 49%, dengan pelepasan emisi CO₂ sebesar 43%. Tingkat peningkatan rata-rata tahunan adalah 2% dan 1,8% secara berturut-turut. Prediksi menunjukkan bahwa pertumbuhan ini akan terus berlanjut, terutama di negara-negara ekonomi berkembang di Asia Tenggara, Timur Tengah, Amerika Selatan, dan Afrika, dengan tingkat peningkatan rata-rata tahunan mencapai 3,2% (Holechek et al., 2022).

Pada tahun 2020, negara-negara ini diperkirakan akan melampaui negara-negara maju seperti Amerika Utara, Eropa Barat, Jepang, Australia, dan Selandia Baru, yang hanya memiliki tingkat pertumbuhan rata-rata sebesar 1,1% (Pérez-Lombard et al., 2008). Isu energi dan lingkungan dianggap sebagai masalah serius secara global. Menurut laporan *World Oil Outlook* 2015, permintaan energi global diperkirakan akan meningkat sebesar 49% dari tahun 2013 hingga 2040. Di negara-negara berkembang, bahan bakar fosil masih akan menjadi sumber energi utama yang dominan. Namun, produksi bahan bakar fosil terbatas dan tidak dapat diperbarui, sehingga sumber daya semakin terdegradasi dengan cepat (Akadiri et al., 2022). Masalah lain yang muncul adalah berapa lama sumber daya yang tak dapat diperbarui dapat memenuhi permintaan

energi yang semakin tinggi dengan harga yang rendah. Selain itu, emisi karbon dioksida (CO₂) yang besar yang dihasilkan menjadi masalah lain, karena dapat menyebabkan perubahan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan seperti pemanasan global, perubahan pola curah hujan, dan kenaikan permukaan laut, yang semuanya dapat menyebabkan kerusakan serius (Zeng and Chini, 2017). Kemajuan ekonomi dan teknologi berperan krusial dalam meningkatkan penggunaan dan produksi energi yang berdampak pada polusi lingkungan dan pemanfaatan sumber daya tak dapat diperbarui. Berdasarkan proyeksi, perkiraan menunjukkan bahwa konsumsi energi dunia akan meningkat sekitar 50% pada tahun 2030 dibandingkan dengan tingkat saat ini, menunjukkan perlunya menjaga keberlanjutan energi (Androjić et al., 2020).

Sektor konstruksi memegang peranan penting dalam konsumsi energi, menurut Dixit et al. (2013), industri bangunan dan konstruksi menyumbang sekitar 40% dari total konsumsi energi di seluruh dunia. Oleh karena itu, industri konstruksi merupakan salah satu sektor pengguna energi terbesar dibandingkan dengan sektor industri lainnya. Data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa dalam periode 2013-2017, sektor industri dan konstruksi di Indonesia menjadi sektor dengan konsumsi energi akhir terbesar. Rata-rata, sektor ini memperoleh sekitar 33,52% dari total kebutuhan energi nasional setiap tahunnya, diikuti oleh sektor transportasi dan rumah tangga. Secara khusus, sektor industri konstruksi menjadi salah satu pengguna energi terbesar di antara sektor industri lainnya. Data BPS yang dikeluarkan untuk periode 2013-2017 menunjukkan bahwa konsumsi energi akhir di sektor industri dan konstruksi di Indonesia menduduki peringkat teratas dengan rata-rata sebesar 33,52% per tahun dari total kebutuhan energi nasional, diikuti oleh sektor transportasi dan rumah tangga (Subdirektorat Statistik Pertambangan dan Energi, 2018).

Memburuknya iklim global telah membuat isu emisi karbon (CE) selama siklus hidup perkerasan aspal menjadi titik fokus penelitian di bidang rekayasa jalan (Liu, Yi, et al., 2024). Pembangunan jalan berdampak negatif pada lingkungan karena konstruksi jalan menghabiskan banyak energi dan berkontribusi pada emisi karbon dioksida. Dalam konteks perubahan iklim dan pemanasan global, perhatian terhadap biaya lingkungan dari perkerasan jalan semakin meningkat (Sun, et al., 2024). Metode konvensional pembangunan jalan dengan menggunakan aspal dapat menghasilkan emisi karbon dan konsumsi energi besar, tidak sesuai dengan prinsip pembangunan

berkelanjutan, dimana proses pembangunan jalan sangat bergantung pada sumber daya alam seperti tanah, batu, kapur, semen, dan aspal. (Zheng et al., 2019). Penggunaan aspal dan semen dalam konstruksi perkerasan jalan dikritik karena dampak negatif pada lingkungan dan kontribusi pada masalah pemanasan global (Mazumder et al., 2016). Pentingnya konstruksi berkelanjutan semakin mendapatkan perhatian global, terutama dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Studi kelayakan proyek sipil umumnya hanya dapat mengidentifikasi sekitar 15% dari keseluruhan proyek (Kim et al., 2012a), dan konsumsi energi dalam proyek perkerasan dapat menyebabkan biaya tinggi dan emisi gas rumah kaca yang signifikan (Wang and Liu, 2012). Sebagai contoh, penelitian di *Asphalt Mixing Plant* menunjukkan bahwa energi membentuk sekitar 12-18% dari total biaya produksi campuran, mayoritas berasal dari bahan bakar fosil dengan dampak emisi gas rumah kaca (Chong et al., 2016). Penerimaan luas terhadap prinsip-prinsip keberlanjutan telah mendorong efisiensi energi dan material dalam rekayasa jalan raya di seluruh dunia. Pertumbuhan signifikan dalam konstruksi perkerasan jalan, terutama di negara-negara berkembang, untuk mendukung ekonomi, telah memicu kebutuhan akan teknologi yang berkelanjutan dan ekonomis (Suwanto et al., 2023).

Pemeliharaan dan rehabilitasi perkerasan aspal berkontribusi terhadap emisi karbon yang berdampak pada perubahan iklim. Interaksi antara perubahan iklim dan peningkatan beban lalu lintas mempengaruhi frekuensi pemeliharaan infrastruktur perkerasan aspal (Liu, Yang, et al., 2024). Estimasi dampak lingkungan selama fase *Maintenance and Rehabilitation* (M&R) tergantung pada frekuensi dan jenis kegiatan M&R, dipengaruhi oleh penurunan kondisi perkerasan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, lalu lintas, curah hujan, dan karakteristik struktural (FHWA, 2019). Studi LCA pada perkerasan yang mempertimbangkan kondisi perkerasan, kerusakan, dan jenis kegiatan M&R masih terbatas (Inyim et al., 2016). Kurangnya pertimbangan kondisi perkerasan pada saat evaluasi dampak di fase M&R dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan jenis dan frekuensi kegiatan M&R dan dampaknya (Batouli and Mostafavi, 2015). Perkerasan jalan mengalami penurunan kondisi, daya dukung, dan kemampuan pelayanan seiring bertambahnya usia, volume lalu lintas, dan pengaruh faktor-faktor seperti jenis perkerasan dan kondisi lingkungan (Bhandari et al., 2023; Sidess et al., 2021; Hossain et al., 2020b; Llopis-Castelló et al., 2020). Kerusakan struktural dan fungsional menyebabkan berkurangnya kemampuan layanan perkerasan

jalan (Kaloop et al., 2020; Park et al., 2007). Kualitas kehalusan permukaan jalan mempengaruhi kenyamanan, kinerja, dan keselamatan berkendara (Wang et al., 2014; Tehrani et al., 2015; Kirbaş, 2018).

Pemeliharaan jalan diperlukan saat kondisi perkerasan mencapai tingkat kekasaran tertentu yang mengganggu kenyamanan dan keamanan pengguna jalan (Al-Suleiman et al., 1988). Kondisi perkerasan memiliki dampak yang besar terhadap frekuensi kecelakaan dan perlu diperhatikan dalam proses perencanaan pemeliharaan, rehabilitasi, dan rekonstruksi perkerasan (Lu et al., 2024). *International Roughness Index* (IRI) digunakan sebagai indikator kekasaran permukaan jalan (Chen et al., 2022; Mahlberg et al., 2022; Pérez-acebo et al., 2023a; Suliman et al., 2023). IRI, diperkenalkan oleh *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) dan dikembangkan oleh Bank Dunia pada tahun 1980-an, digunakan secara luas oleh banyak negara dan otoritas jalan (Li et al., 2018; Moffatt, 2007; Alberta Transportation, 2015). Tinggi nilai IRI menunjukkan kekasaran permukaan jalan dan dapat dipakai untuk merencanakan pemeliharaan dengan lebih efisien (Sandamal et al., 2023; Bosurgi et al., 2022). Prediksi kekasaran jalan yang akurat merupakan komponen penting dalam transportasi berkelanjutan karena membantu perencana transportasi untuk mengembangkan strategi pemeliharaan dan rehabilitasi jalan yang hemat biaya dan berkelanjutan (Sandamal et al., 2023). Dalam Sistem Manajemen Perkerasan (*Pavement Management Systems/PMS*), model kinerja perkerasan, yang juga disebut sebagai model kerusakan perkerasan atau evolusi, dianggap sebagai elemen kunci. Model ini memiliki kemampuan untuk meramalkan kondisi perkerasan jalan di masa depan berdasarkan data yang telah terkumpul. Dengan prediksi kinerja perkerasan untuk beberapa tahun ke depan, perencanaan saat dan penanganan optimal dapat dilakukan. Hal ini membantu memaksimalkan penggunaan anggaran yang terbatas untuk pemeliharaan dan rehabilitasi (M&R) jalan (Pérez-Acebo et al., 2023a).

Di masa lalu, penentuan jenis perkerasan jalan lebih didasarkan pada kriteria harga terendah dengan tetap memperhatikan kapasitas struktural dan keamanan yang terjamin. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, kriteria-kriteria baru seperti dampak lingkungan, konsumsi energi, dan dampak jangka panjang, termasuk perubahan iklim, penipisan sumber daya, limbah padat, air buangan, dan emisi, telah menjadi pertimbangan utama (Gulotta et al., 2019). Menentukan jenis perkerasan yang optimal

kini menjadi suatu tantangan, karena pemilihan tersebut sekarang lebih cenderung didasarkan pada faktor-faktor teknis dan ekonomi, sedangkan aspek penggunaan energi dan dampak lingkungan jarang dipertimbangkan (Division of Maintenance Pavement Program, 2015; Hafez et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan metode perhitungan konsumsi energi dan emisi pada tahap desain, konstruksi, operasi, pemeliharaan, hingga tahap *end of life* untuk menentukan jenis perkerasan yang optimal. Penelitian ini mencakup pengembangan model optimalisasi dalam tiga aspek utama, yaitu energi, emisi, dan biaya, dengan fokus pada proyek konstruksi jalan menggunakan dua jenis perkerasan, yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Sejauh ini, kriteria dampak lingkungan (terkait dengan penggunaan energi dan emisi) belum dimasukkan ke dalam kebijakan desain perkerasan jalan seperti yang terdapat pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2017. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi sebagai kriteria dalam pedoman perencanaan perkerasan jalan terkini. Konsep optimalisasi dalam penelitian ini merujuk pada upaya mencapai hasil terbaik atau paling efisien dalam mengurangi konsumsi energi, emisi, biaya operasional, dan dampak lingkungan.

1.2. Identifikasi Masalah

Penentuan masalah didasarkan pada berbagai uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu:

1. Kurangnya penelitian tentang penggunaan energi dan emisi yang dihasilkan pada pekerjaan jalan, khususnya metode perhitungan energi dan emisi yang praktis dan terintegrasi dengan perhitungan biaya (FHWA, 2019; Inyim et al., 2016).
2. Dampak lingkungan dari proyek konstruksi, khususnya pada penggunaan aspal dan semen dalam konstruksi perkerasan jalan, yang menyumbang pada emisi gas rumah kaca (Wong and Zhou, 2015; Zhang, Lepech, et al., 2010; Mazumder et al., 2016).
3. Kurangnya optimalisasi energi dan emisi yang terintegrasi dalam proyek infrastruktur jalan, dengan sejumlah penelitian yang mencoba mengatasi kekosongan tersebut melalui pendekatan simulasi dan optimasi pada berbagai tahapan proyek konstruksi (Masih-Tehrani et al., 2020; Vandanjon et al., 2019; Jassim et al., 2019; Barati and Shen, 2017; Torres-Machi et al., 2017; Ozcan-Deniz and Zhu, 2017; Wang and Chong, 2014; Zhang et al., 2010).

4. Metode yang dipakai sebelumnya untuk menentukan waktu pelaksanaan pemeliharaan/rehabilitasi jalan yang bersifat (menggunakan) asumsi, sementara penelitian ini akan menggunakan model prediksi nilai *International Roughness Index* (IRI) sebagai dasar penentuan waktu pelaksanaan pemeliharaan (Loijos et al., 2013; Dumitrescu et al., 2014; Mazumder et al., 2016).
5. Meskipun konsep ramah lingkungan dan keberlanjutan sudah ada, industri konstruksi masih menjadi konsumen energi utama, dan penentuan pemilihan jenis perkerasan masih berbasis biaya dengan *discounted-life-cycle cost* terendah sehingga penelitian ini dianggap penting untuk mendukung upaya pengurangan energi dan emisi karbon dalam proyek konstruksi (Wong and Zhou, 2015), dengan memasukkan kriteria dampak lingkungan (terkait dengan penggunaan energi dan emisi) sebagai kriteria pemilihan desain perkerasan jalan.

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor yang mempengaruhi energi dan emisi pada proyek konstruksi jalan?
2. Bagaimana mengembangkan metode perhitungan model optimalisasi energi dan emisi pada proyek konstruksi jalan berdasarkan analisis produktivitas?
3. Bagaimana membangun model prediksi nilai *International Roughness Index* (IRI) dengan menggunakan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN)?
4. Bagaimana mengintegrasikan model prediksi nilai *International Roughness Index* (IRI) ke dalam metode perhitungan model optimalisasi energi, emisi dan biaya?

1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah mengembangkan model optimalisasi energi, emisi dan biaya pada proyek konstruksi jalan dengan perkerasan lentur dan perkerasan kaku dalam batasan sistem *cradle to cradle*.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan faktor yang mempengaruhi energi dan emisi pada proyek konstruksi jalan.

2. Mengembangkan metode perhitungan energi dan emisi pada proyek konstruksi jalan berdasarkan analisis produktivitas.
3. Membangun model prediksi nilai *International Roughness Index* (IRI) untuk menentukan waktu pelaksanaan rehabilitasi jalan dengan menggunakan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN).
4. Mengintegrasikan model prediksi nilai *International Roughness Index* (IRI) ke dalam metode perhitungan model optimalisasi energi, emisi dan biaya.

1.5.Kebaruan (*Novelties*)

Berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu ini maka didapatkan kesenjangan (*gap*) untuk dilakukan penelitian yang menjadi dasar menemukan untuk kebaruan ilmu (*novelty*) yaitu:

- Pertama, belum ada model perhitungan optimalisasi energi, emisi, dan biaya yang terintegrasi pada tahap desain proyek konstruksi jalan, yang bisa menghitung dan mensimulasikan besaran energi, emisi dan biaya pada tahap konstruksi, operasi dan pemeliharaan/rehabilitasi, hingga *end of life* (dengan batasan sistem *cradle to cradle*), menggunakan analisis produktivitas pada alat berat dan kebutuhan bahan/material untuk pekerjaan perkerasan lentur (aspal) dan perkerasan kaku (beton).
- Kedua, belum ada model perhitungan optimalisasi energi dan emisi yang mengintegrasikan model prediksi nilai IRI untuk menentukan kapan waktu pemeliharaan/rehabilitasi dan jenis pekerjaan yang akan dilaksanakan.
- Ketiga, kebijakan desain perkerasan jalan dalam Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) nomor 02/M/BM/2017 sudah memasukan *discounted-life-cycle cost* (berbasis biaya) yang terendah untuk menentukan umur rencana optimum namun belum memasukan kriteria berbasis lingkungan atau *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk optimalisasi energi dan emisi sebagai salah satu kriteria pertimbangan pemilihan jenis perkerasan jalan.

Adapun yang menjadi *critical thinking* pada penelitian ini yaitu bagaimana cara/metode perhitungan energi dan emisi yang terintegrasi dengan perhitungan biaya dalam Analisis Harga Satuan (AHS) Bina Marga. Sehingga pada tahap desain langsung bisa diketahui berapa energi, emisi dan biaya pada tahap pelaksanaan, operasi dan

pemeliharaan/rehabilitasi, sampai dengan *end of life*, dimana pada tahap pemeliharaan waktu pelaksanaannya dapat ditentukan dengan model *Artificial Neural Network* (ANN) prediksi nilai IRI. IRI dipakai sebagai indikator untuk desain perkerasan jalan baru dan jalan lama, yang berkorelasi dengan parameter-parameter kerusakan jalan (Chen et al., 2022). Untuk menentukan kapan waktu harus dilakukan pemeliharaan/rehabilitasi jalan, dan jenis pekerjaan yang akan dilaksanakan, maka perlu dibuat model prediksi nilai IRI.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini adalah mendapatkan metode perhitungan untuk mensimulasikan model optimalisasi perhitungan energi, emisi dan biaya yang dilakukan dengan cara:

1. Mengembangkan metode perhitungan energi dan emisi yang terintegrasi dengan perhitungan biaya dengan pendekatan berdasarkan proses menggunakan Analisis Harga Satuan (AHS) Bina Marga tahun 2018 yang dimodifikasi dengan memasukkan perhitungan energi dan emisi menggunakan metode perhitungan US EPA (US EPA, 2010).
2. Perhitungan energi dan emisi pada tahap operasi dan pemeliharaan/rehabilitasi jalan dilakukan dengan metode prediksi kondisi perkerasan berdasarkan tingkat kerusakan fungsional jalan. Hal ini membantu menentukan waktu pelaksanaan pemeliharaan dan jenis perawatan sesuai standar pelayanan minimum jalan tol yang diatur oleh peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014. Indikator yang digunakan berupa nilai *International Roughness Index* (IRI), yang diprediksi melalui model *Artificial Neural Network* (ANN) dengan *input parameter* seperti usia jalan, volume lalu lintas per golongan per tahun, dan *target output* berupa nilai IRI per tahun. Penanganan spesifik ditetapkan sesuai dengan nilai prediksi IRI, dengan acuan pada Manual Desain Perkerasan Jalan tahun 2017, jika nilai IRI melebihi 4.00 m/km (Kementerian PUPR Dirjen Bina Marga, 2017).

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memiliki implikasi signifikan dalam pengembangan infrastruktur jalan yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan ekonomis. Selain itu, dapat membantu dalam merumuskan kebijakan dan praktik-praktik yang paling optimal dalam industri konstruksi jalan. Penelitian ini diharapkan

dapat memberikan kontribusi positif, terutama dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, dan memiliki aplikasi yang bermanfaat pada beberapa bidang dan sektor, antara lain:

1. Bidang Manajemen Konstruksi, dengan memberikan wawasan tentang konsumsi energi, emisi, dan biaya per kilometer panjang jalan pada proyek konstruksi jalan perkerasan lentur dan perkerasan kaku.
2. Sektor industri, di mana penelitian ini dapat mendukung pelaku jasa konstruksi dalam menggunakan model optimalisasi perhitungan energi, emisi, dan biaya pada tahap desain. Hal ini bertujuan untuk memperoleh estimasi yang akurat untuk kebutuhan energi, emisi, dan biaya pada tahap konstruksi, operasi, serta pemeliharaan/rehabilitasi hingga akhir masa pakai.
3. Sektor pemerintahan, dengan memberikan masukan kepada pembuat kebijakan dan pihak terlibat dalam perencanaan konstruksi jalan. Penelitian ini mendukung penyusunan konsep standar pengambilan keputusan untuk menentukan jenis konstruksi lapis perkerasan jalan yang optimal. Pendekatan ini tetap berwawasan konstruksi hijau dan berkelanjutan, dengan memasukkan kriteria berbasis lingkungan atau *Life Cycle Assessment (LCA)* sebagai pertimbangan utama dalam pemilihan jenis perkerasan jalan.
4. Sektor pendidikan, di mana hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi akademisi dan peneliti dalam mengembangkan penelitian lanjutan di bidang terkait.

1.7.Pembatasan Masalah (Ruang Lingkup)

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada beberapa hal yaitu:

1. Penelitian ini mengembangkan metode perhitungan energi dan emisi berdasarkan analisis produktivitas pada Analisis Harga Satuan (AHS) Bina Marga 2018, dengan mengintegrasikan model prediksi IRI supaya bisa membuat simulasi perhitungan energi, emisi dan biaya pada proyek konstruksi jalan perkerasan lentur dan perkerasan kaku khususnya pada tahap operasi dan pemeliharaan dalam batasan sistem *cradle to cradle*, dan tidak menghitung limbah padat (*solid waste*) selama umur perkerasan jalan.
2. Prediksi nilai IRI untuk jalan perkerasan lentur dan perkerasan kaku menggunakan pemodelan *Artificial Neural Network (ANN)*, dengan menggunakan data jalan tol

seperti yang terdapat pada lampiran sebagai input berupa umur jalan dan beban lalu lintas golongan I, II, III, IV dan V per tahun menurut jenis perkerasannya yang dikonversi dari volume lalu lintas per tahun per golongan dengan menggunakan faktor ekivalen beban VDF 4 dan VDF 5 beban aktual, dan *target output* berupa nilai IRI per tahun.

3. Hasil penelitian ini hanya berlaku untuk jalan yang menjadi objek penelitian yaitu 30 jalan tol yang ada di Indonesia yang ada di pulau Jawa sesuai yang terdapat pada Lampiran 5, dengan pertimbangan memiliki standar perencanaan yang sama dengan standar perencanaan jalan tol di luar negeri yaitu mengacu ke standar *American Association Of State Highway And Transportation Officiials* (AASHTO) serta memakai indikator IRI sebagai acuan pemeliharaan jalan. Jumlah jalan tol yang beroperasi tersedia cukup banyak dan memiliki waktu layanan cukup panjang serta sebagian besar ada di pulau Jawa sehingga dapat diasumsikan memiliki karakteristik pengaruh lingkungan yang cukup seragam. Penentuan jenis perkerasan berdasarkan pada data sekunder yang didapatkan dari lembar pengisian data dan pengamatan terhadap lapisan permukaan secara visual di lapangan. Selain itu ketersediaan data IRI sesuai persyaratan berdasarkan standar pelayanan minimum jalan tol dan volume lalu lintas yang periodik, sehingga dapat digunakan untuk membangun, melatih, memvalidasi, menguji dan mensimulasikan model prediksi IRI.

1.8.Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri atas 6 bab, dengan rincian isi sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, Kebaruan (*Novelties*) penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah (ruang lingkup), dan sistematika penulisan.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR

Kajian pustaka dan kerangka berpikir berisi uraian teori dan peraturan yang berlaku, siklus hidup pada proyek konstruksi, energi dan emisi yang terdiri dari *embodied energy, operational and recurrent energy*, dan *decommisioning energy*, struktur

perkerasan jalan, proses produksi aspal dan beton, pelaksanaan pekerjaan jalan serta peralatan yang dipakai pada proyek jalan, penelitian terdahulu tentang energi dan emisi, IRI dan ANN, LCA, LCCA, variabel konsumsi energi dan emisi, kerangka berpikir dan peta jalan penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian berisi tentang metode penelitian, tempat dan waktu penelitian, tahapan penelitian, populasi dan sampel, teknik pengumpulan data, variabel dan instrumen penelitian, teknik analisis data alur penelitian, batasan sistem, dan teknik pengolahan data.

BAB 4 KOMPILASI DAN ANALISIS DATA

Analisis data penelitian berisi tentang analisis data, analisis variabel, pengolahan model prediksi IRI dan model optimalisasi energi pada proyek konstruksi jalan perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian berisi tentang pembahasan hasil analisis data dan model prediksi IRI dan model optimalisasi energi.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran berisi tentang kesimpulan dan saran-saran atau rekomendasi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN