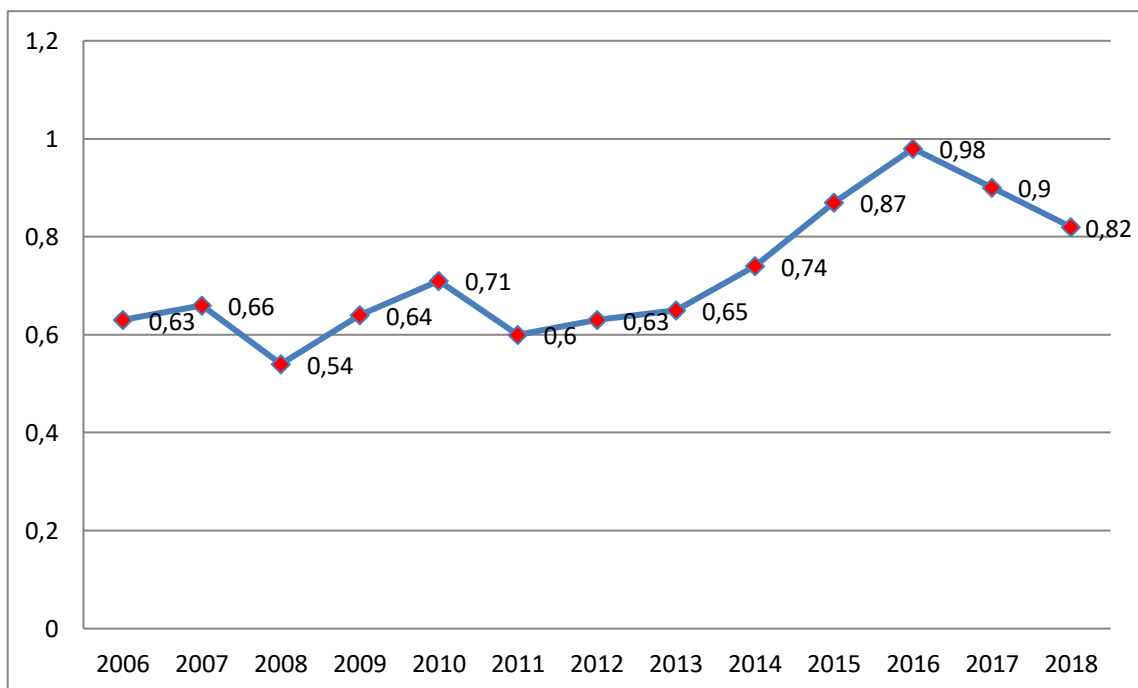


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pemanasan global (*global warming*) serta perubahan iklim yang ekstrim saat ini merupakan bahaya yang nyata bagi seluruh dunia. Perubahan iklim global yang disebabkan emisi gas rumah kaca sangat mempengaruhi siklus air sehingga memperpanjang kemarau dan meningkatkan intensitas hujan serta menaikkan permukaan laut yang berdampak terhadap kerawanan kekeringan dan banjir (Munir, 2016). Suhu permukaan planet rata-rata telah meningkat sekitar 2,0 derajat Fahrenheit atau 1,1 derajat Celcius. Perubahan suhu yang tinggi sebagian besar didorong oleh peningkatan karbon dioksida dan emisi buatan manusia lainnya ke atmosfer. Tahun 2016 tercatat mengalami peningkatan suhu global terpanas selama 10 tahun terakhir dengan kenaikan 0,99 derajat Celcius dan sedikit mengalami penurunan di tahun 2018 dengan suhu 0,82 derajat Celcius, hal ini merupakan akibat dari dampak perubahan iklim yang potensial yang disebabkan oleh emisi (*NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS, 2019)*).



Gambar 1.1. Kenaikan Suhu Global (*NASA's Goddard Institute for Space Studies*)

Dampak pemanasan global (*global warming*) di Indonesia yaitu adanya musim kemarau yang panjang terjadi di beberapa wilayah seperti Kalimantan dan Sumatera. Akibat kekeringan akan memicu timbulnya kebakaran hutan yang menghasilkan Gas CO₂ sebagai faktor utama pembentuk efek rumah kaca di atmosfer, selain itu kebakaran hutan ini sangat mengganggu aktifitas serta perekonomian di negara kita serta di sebagian wilayah negara – negara ASEAN. Asap akibat kebakaran hutan sangat membahayakan bagi manusia dan dapat menimbulkan korban jiwa. Tercatat, di Asia Tenggara lebih dari 2.000 juta ton karbon dioksida diemisikan per tahun akibat kerusakan lahan gambut, 90% di antaranya dari lahan gambut Indonesia (Santoso, 2015).

Komitmen pemerintah Indonesia dalam mengurangi pemanasan global diwujudkan dengan menurunkan emisi sebesar 26% pada tahun 2020 (BAPPENAS, 2011) yang kemudian pada tahun 2015 menaikkan komitmen dengan target penurunan emisi menjadi 29% pada tahun 2030 secara mandiri sedangkan jika ada kerja sama dengan pihak internasional sebesar 41%. Komitmen ini mencakup aspek mitigasi dan adaptasi pada sektor kehutanan, energi termasuk transportasi, limbah, proses industri dan penggunaan produk, serta pertanian. Upaya bersama perlu dilakukan untuk mencapai target tersebut baik segi teknologi, kelembagaan dan perilaku. Strategi untuk mengurangi emisi harus dilakukan disemua sektor dan seluruh wilayah. Pengurangan penggunaan energi bisa dilakukan melalui beberapa cara, seperti efisiensi energi. Banyak negara sudah memiliki kebijakan untuk mengurangi emisi, tetapi yang lebih penting adalah penerapannya (KLHHut, 2016).

Bangunan gedung menggunakan 40% dari energi global, dan menghasilkan emisi pada tahap konstruksi dan operasionalnya (APEKSI, 2016). Untuk itu perubahan iklim perlu diantisipasi melalui tindakan adaptasi dan mitigasi agar bisa meminimalisir bencana alam yang dipicu perubahan iklim. Perkotaan merupakan kawasan yang rentan terhadap perubahan iklim. Populasi penduduk perkotaan yang relatif lebih tinggi dibandingkan penduduk perdesaan berpotensi untuk berkontribusi lebih besar dalam menghasilkan gas rumah kaca. Daya dukung lingkungan perkotaan akan relatif lebih rendah. Lokasi kota-kota di Indonesia juga sebagian besar merupakan daerah pesisir pantai, sehingga lebih rentan terhadap bencana (APEKSI, 2016).

1.1.1. Peran Pemerintah Terhadap Pengurangan Energi dan Emisi CO₂

Terbitnya Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 11 Tahun 2012 tentang Rencana Aksi Nasional Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim tahun 2012-2020 dan Peraturan Menteri PUPR Nomor 02/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau merupakan upaya Pemerintah untuk pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) yang bersumber dari proyek konstruksi. Pencapaian *Green Building* pada Bangunan Baru diukur berdasarkan 6 kategori yaitu Tata Guna Lahan yang Tepat (16,8%), Efisiensi dan Konservasi Energi (25,7%), Konservasi Air (20,8%), Sumber dan Siklus Material (13,9%), Kesehatan dan Kenyamanan dalam ruang (9,9%), Manajemen Lingkungan Bangunan (12,9%). Efisiensi dan Konservasi Energi memiliki poin terbesar untuk *GreenShip*. Dalam pencapaian tersebut perlu mempertimbangkan tiga elemen utama yaitu *Life Cycle Assessment* (LCA), Efisiensi Desain Struktur, Efisiensi Energi (GBCI, 2013).

Peraturan Menteri (Permen) Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PU-Pera) Nomor 2 Tahun 2015 mengatur tentang ketentuan Bangunan Gedung Hijau baik dari segi persyaratan, penyelenggaraan, sertifikasi dan pengelolaan bangunan. Peraturan tersebut merupakan turunan dari Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, yang harus diikuti dengan peraturan daerah (perda) tentang bangunan gedung di seluruh daerah. Berdasarkan data Bina Penataan Bangunan Ditjen Cipta Karya Kementerian PU-Pera menyebutkan bahwa dari 509 kabupaten/kota yang ada di Indonesia, baru 426 kabupaten/kota yang memiliki Perda Bangunan Gedung sisanya masih dalam proses legislasi di tiap-tiap DPRD. Data GBCI menyebutkan terdapat 20 bangunan gedung di Indonesia yang sudah tersertifikasi sebagai bangunan gedung hijau. Selain itu, terdapat 54 proyek bangunan gedung baru dan empat gedung terbangun yang terdaftar untuk sertifikasi bangunan hijau, dimana berdasarkan data dari *Skyscrapercity* Forum Indonesia terdapat 725 bangunan gedung di Indonesia. Hal ini menunjukkan minimnya gedung yang tersertifikasi sebagai *green building*, karena kesadaran masyarakat akan pentingnya manfaat dari bangunan hijau masih belum banyak (Musyaffa, 2016).

Peraturan ini juga menyebutkan bahwa efisiensi penggunaan energi diperhitungkan dengan menerapkan persyaratan teknis efisiensi penggunaan energi sesuai dengan pedoman dan standar teknis terkait, yang diperkirakan mampu mencapai konservasi energi dengan kisaran 20% - 25%. Penerapan Konservasi energi yang diatur

lebih terfokus pada kegiatan ditahap konstruksi berupa efisiensi penggunaan alat, listrik dan rantai pasok (material dan pemilihan pemasok atau sub kontraktor).

Kendala kontraktor dalam menerapkan *green construction* untuk proyek konstruksi di Indonesia salah satunya karena belum adanya kepastian jenis material ramah lingkungan yang dinyatakan oleh lembaga yang dilegitimasi dan ketentuan penggunaan peralatan konstruksi yang rendah emisi dan berbahan bakar alternatif (Ervianto, 2014). Kontraktor memiliki persepsi yang positif dalam penerapan *green building*, namun dalam proses konstruksi terdapat beberapa hal yang dirasakan menjadi beban kontraktor antara lain proses konstruksi dan proses administrasi yang lebih rumit, serta timbulnya biaya-biaya ekstra yang harus ditanggung kontraktor. Pemerintah diharapkan dapat memberikan berbagai insentif yang mendorong penerapan konsep *green building* (Sucipto, 2017).

Peraturan Menteri PUPR Nomor 05/PRT/M/2015 tentang pembangunan yang ramah lingkungan serta berkelanjutan (*Sustainable Construction*) sebagai upaya mengurangi dampak lingkungan akibat kegiatan proyek konstruksi. Aturan ini sesuai dengan cetak biru industri konstruksi Indonesia sebagai *grand design* dan *grand strategy* yang disebut dengan Konstruksi Indonesia 2030. Salah satu agenda yang diusulkan adalah melakukan promosi *sustainable construction* untuk penghematan bahan dan pengurangan limbah (bahan sisa) serta kemudahan pemeliharaan bangunan pasca konstruksi (LPJKN, 2007 dalam Ervianto, 2015).

Sustainable construction didefinisikan sebagai praktek-praktek penyelenggaraan konstruksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan yang akan memberi manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan yang besar (Agenda Konstruksi Indonesia 2010-2030 dalam Ervianto, 2015). Konsep utama yang ada dalam *sustainable construction* adalah penghematan bahan dan pengurangan limbah serta kemudahan pemeliharaan bangunan pasca konstruksi. Untuk mewujudkan *sustainable construction*, proses konstruksi yang dilakukan haruslah ramah lingkungan (Ervianto, 2015).

1.1.2. Kegiatan Konstruksi Menghasilkan Limbah

Persoalan yang ditimbulkan dalam proses konstruksi antara lain adalah kemampuan untuk mencukupi kebutuhan sumberdaya (material, pekerja, peralatan, metode) sebagai komponen *input* proses konstruksi, yang terkait langsung dengan kualitas *output* berupa

bangunan dan limbah yang besar kecilnya dipengaruhi oleh aktivitas proses konstruksi (Ervianto, 2015). Limbah konstruksi yang terdiri dari material sisa mengandung bahan kimia dalam jumlah besar dan berbahaya seperti senyawa organik atau logam berat (Townsend & Kibert, 1998).

Limbah konstruksi sulit didaur ulang karena tingginya pencemaran dan tingkat heterogenitas (Brooks et al, 1994). Sehingga lebih baik untuk mencegah timbulnya limbah dari pada mendaur ulang limbah tersebut. Selain limbah konstruksi terdapat pula pencemaran akibat gas emisi. Gas emisi CO₂ memiliki pengaruh yang tinggi terhadap perubahan iklim di dunia. Penggunaan energi pada kegiatan konstruksi akan menghasilkan gas emisi CO₂ yang akan berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca.

Berdasarkan data dari USA bahwa proyek konstruksi menyumbang 39 % gas emisi CO₂ jauh lebih besar dari transportasi dan industry (USGBC,2015), sedangkan data dari Uni Eropa menyebutkan 11 % emisi CO₂ (Eurostat, 2014) dan di Australia sebesar 18,1% (Yu, 2017). Di Indonesia emisi CO₂ sektor energi menyumbang 2,43 % setiap tahunnya dan terus mengalami peningkatan, dimana urutan sektor pengguna energi (tidak termasuk dengan pembangkit listrik) sebagai penyumbang emisi dari yang terbesar adalah transportasi (53%), industri (35%), rumah tangga (8%), lainnya (3%), dan komersial (1%) (KEMENESDM, 2016). Proyek konstruksi bertanggung jawab atas penggunaan 40% energi global, 25% air global dan 40% sumber daya global yang dipancarkan ke atmosfer 1/3 dari emisi dunia GHG, selain itu selama fase operasional bangunan sekitar 60% listrik dunia juga dikonsumsi (UNEP, 2015). Penggunaan bahan daur ulang dari sisa bongkaran serta mengurangi limbah konstruksi dengan sistem manajemen limbah/ waste manajemen merupakan salah satu strategi untuk menurunkan energi (Efstratios & Alice, 2014; Malmqvist *et.al.*, 2014).

1.1.3. Embodied Energy dan Operational Energy pada Proyek konstruksi

Gas emisi CO_{2e} berasal dari Energi yang dikeluarkan selama siklus hidup bangunan yang dimulai dari tahap produksi, tahap konstruksi, tahap operasional, dan tahap pembongkaran/masa akhir bangunan. Konsumsi energi menghasilkan CO_{2e}, yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, sehingga energi yang terkandung dianggap sebagai indikator dampak lingkungan keseluruhan bahan bangunan dan sistem (Goggins, 2012). Sebagian besar energi yang dikonsumsi oleh bangunan di atas siklus hidupnya

adalah energi yang terkandung dalam bangunan bahan dan proses konstruksi. Ada tiga cara utama untuk mengurangi konsumsi energi: mengurangi penggunaan energi bangunan, penggantian bahan bakar fosil dengan energi terbarukan, dan meningkatkan efisiensi energi. Karena itu, mengurangi energi yang terkandung dalam bangunan telah menjadi fokus sebagai salah satu isu dipengurangan emisi karbon dioksida dan pemanasan global (Sattary & Thorpe, 2012).

Bangunan merupakan pengguna bahan yang besar dengan kandungan energi terkandung yang tinggi. Energi terkandung (*Embodied Energy*) sesuai dengan energi yang dikonsumsi oleh semua proses yang terkait dengan produksi bahan bangunan dan komponennya. Ini termasuk pertambangan dan pembuatan bahan dan peralatan. Setiap bangunan merupakan kombinasi kompleks dari banyak bahan olahan, masing-masing yang berkontribusi terhadap energi total bangunan yang terkandung. Energi yang diwujudkan sebanding ke tingkat pengolahan yang dibutuhkan oleh bahan. Semakin kompleks materinya dan semakin besar jumlah pengolahan yang dibutuhkan, semakin tinggi jumlah energi yang dikonsumsi. Tingkat energi terkandung yang tinggi menyiratkan tingkat polusi yang lebih tinggi pada akhir produksi karena konsumsi energi biasanya menghasilkan emisi. Beton, aluminium dan baja adalah salah satu bahan dengan kandungan energi terkandung tertinggi dan mereka juga bertanggung jawab untuk jumlah besar emisi CO_{2e} (Larriba & Wolf, 2010).

Menurut Crowther (1999), energi dalam pekerjaan konstruksi terbagi dua yaitu *Embodied Energy* dan *Operational Energy*. *Embodied Energy* adalah energi total yang dibutuhkan dalam pembuatan bangunan, termasuk energi langsung yang digunakan dalam konstruksi dan perakitan proses, dan energi tidak langsung yang dibutuhkan untuk memproduksi bahan dan komponen bangunan. Energi tidak langsung ini akan mencakup semua energi yang dibutuhkan dari bahan mentah ekstraksi bahan, melalui pengolahan dan pembuatan, dan juga mencakup semua energi digunakan dalam transportasi selama proses ini dan bagian energi yang relevan yang terkandung dalam infrastruktur pabrik dan mesin manufaktur, konstruksi dan transportasi. Sedangkan *Operational Energy* adalah energi yang ada digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam lingkungan gedung atau bangunan. Dengan kata lain, semua energi yang ada digunakan ke sistem untuk mengoperasikan lampu, lift dan eskalator, sistem ventilasi, pemanasan dan sistem

pendingin, sistem pemanas air dan pemompaan. Ini termasuk energi dari listrik, gas, dan pembakaran bahan bakar seperti minyak atau batubara.

Embodied Energy sendiri terbagi dua bagian yaitu embodied energi yang berada dalam material konstruksi dan energi emisi yang dikeluarkan selama kegiatan konstruksi atau disebut juga *Embodied Carbon*. Untuk Embodied Energy dalam material dihitung menggunakan satuan *Micro Joule per Kilo gram* material (MJ/Kg) atau berdasarkan satuan fungsinya menggunakan MJ/m³ material atau MJ/m² material, sedangkan *Embodied Carbon* dihitung dengan satuan *Kilo gram Karbon Ekuivalen per Kilo gram* material (KgCO_{2e}/Kg) atau berdasarkan satuan fungsinya menggunakan KgCO_{2e}/m³ material atau KgCO_{2e}/m² material, dimana masing-masing material memiliki nilai energy yang berbeda-beda (Hammond & Jones, 2008). *Embodied Carbon* atau energi karbon merupakan energi yang dikeluarkan selama proses konstruksi memperhatikan energi yang berasal dari proses Manufacture/ pabrikasi, distribusi/supply, transportasi dan peralatan yang digunakan selama pekerjaan pembangunan. Umumnya energi ini berasal dari pembakaran (fosil) yang digunakan seperti pabrik dan kendaraan. *Operational Energy* berasal dari energy yang dikeluarkan selama masa operasional bangunan dengan umur rata-rata 50 tahun. *Operational Energy* berupa penggunaan energy listrik, *Air Conditioning*, dapur, dll. Kebutuhan energi operasional terdiri dari sekitar 80 – 90%, sedangkan energi yang terkandung (*Embodied Energy*) berkisar antara 10% sampai 20%, besarnya kebutuhan energi pada masa operasional dikarenakan jangka waktu penggunaan bangunan serta fungsi bangunan lebih lama (Ramesh *et.al*, 2010).

1.1.4. Penelitian *Embodied* dan *Operasional Energy* pada Bangunan Infrastruktur

Konsumsi energi pada bangunan infrastruktur sebagian besar berasal dari proses produksi material dan penggunaan transportasi serta kendaraan alat berat. Hasil penelitian Pérez-Martínez menyebutkan bahwa bangunan transportasi jalan mengkonsumsi hingga 30% dari total energi yang menghasilkan jumlah emisi CO₂ terbesar, dimana kendaraan yang mengkonsumsi bahan bakar gasoline lebih kecil menghasilkan emisi dibandingkan dengan kendaraan yang mengkonsumsi diesel (Poerez, 2012).

Strategi pengurangan total konsumsi energi baik *Embodied Energy* dan *Operational Energy* pada bangunan tidak hanya berfokus pada tahap perencanaan, pembangunan dan masa pemanfaatan namun juga perlu memperhatikan masa

pembongkaran bangunan, dimana nilai energi yang terkandung saat pembongkaran hampir sama dengan masa tahap awal konstruksi. Untuk itu dalam perencanaan bangunan seharusnya mempertimbangkan strategi kemudahan pembongkaran bangunan sehingga material dapat digunakan kembali (Crowther, 1999).

Sebuah penelitian menyatakan bahwa energi yang digunakan dalam kegiatan produksi material sangat besar dibandingkan dengan aktivitas lain seperti transportasi dan konstruksi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai energi karena aktivitas produksi material 693.151 MJ, sedangkan transportasi hanya 40.083MJ dan konstruksi 73.734 MJ. Kondisi ini menunjukkan bahwa efisiensi energi dalam proyek konstruksi sangat penting untuk mengurangi dampak lingkungan, di mana konsumsi energi yang tinggi akan menghasilkan tingkat emisi yang besar (Krantz, 2015). Pada tahap produksi material besarnya energi dan emisi yang dikonsumsi sebanyak 55%, sedangkan untuk produksi aspal sebesar 38-39% dan sisanya sebesar 5-6% berasal dari transportasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas produksi material mampu mengkonsumsi energi dapat mencapai 98% sedangkan sisanya dihasilkan saat pelaksanaan konstruksi (Esperonza, 2019).

Besarnya konsumsi energi secara tidak langsung akan menghasilkan emisi yang besar pula. Efisiensi energi diperlukan dalam meningkatkan keamanan, ketersediaan pasokan energi, dan efisiensi sumber daya dalam menghadapi dampak perubahan iklim (European Commission DG Environment, 2015). Salah satu upaya mengurangi energi dan emisi pada proyek jalan dengan menerapkan konsep green pada setiap aktivitasnya. Green road merupakan standar yang diakui dalam menilai implementasi konstruksi jalan yang mengutamakan kelestarian lingkungan dan kenyamanan bagi kelangsungan hidup manusia. Salah satu tujuan konsep green road yaitu meminimalkan energi dan emisi sejak perencanaan, perancangan jalan, konstruksi dan pemeliharaan (Greenroad V1.0 Manual, 2010).

Penelitian lain menyebutkan konsumsi emisi dari produksi material mencapai 62% dari total aktivitas konstruksi jalan, sedangkan berdasarkan jenis materialnya untuk aspal hormix mengkonsumsi emisi sebesar 53.53% (Noland, 2015). Demikian juga pada penelitian Ma pada pekerjaan jalan di china menyebutkan bahwa aktivitas produksi material menghasilkan emisi terbesar, dimana material semen, agregat dan aspal

mengonsumsi energi yang menghasilkan emisi sebesar 88.27% dari total material yang digunakan (Ma, 2016).

Sebagian besar penelitian tentang analisis energi menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk menghitung *Embodied Energy* (EE) dan *Operational Energy* (OE) dalam keseluruhan siklus hidup suatu bangunan. Namun pada penelitian tersebut teridentifikasi parameter yang menyebabkan variasi data energi, hal ini menyebabkan permasalahan terhadap standart internasional LCA. Untuk itu perlu sebuah pendekatan untuk mendapatkan pedoman yang memungkinkan dikembangkan menjadi Protokol yang dapat diterima secara global (Dixit et al.2012).

Monteiro (2015) dalam disertasinya tentang Penilaian Embodied Energi pada Struktur Bangunan menggunakan Metode LCA mengungkapkan bahwa Embodied Energi pada struktur bangunan memiliki rentang besaran nilai yang bervariasi dimana pengaruh terbesar terdapat pada jenis material struktural yang digunakan seperti struktur baja, struktur kayu laminasi dan struktur beton. Melalui metoda LCA diketahui bahwa bentang bangunan tidak memiliki pengaruh yang besar dalam konsumsi embodied energi pada struktur bangunan.

Metode untuk mengurangi energi terkandung (*Embodied Energy*) dalam bangunan dilakukan melalui penggunaan bahan lokal dengan daya tahan yang sama, perencanaan bangunan yang rendah pemeliharaan dan fleksibilitas dalam penggunaannya, serta keputusan yang tepat pada penentuan material design bangunan (Holtzhausen, 2007).

Penelitian Marzouk merekomendasikan upaya pengurangan energi dan emisi dengan mengganti material agregat alami yang tidak dapat didaur ulang dengan agregat yang dapat didaur ulang dari limbah industri, selain itu penggunaan campuran aspal dingin (*cold asphalt mixes*) sebagai pengganti campuran aspal panas (*hot asphalt mixes*), serta metode kerja yang menggunakan teknik daur ulang material dan aspal pada proyek rehabilitasi terutama metode daur ulang di tempat (Mazrouk, 2017). Penggunaan *Hot Mixture Asphalt* (HMA) sebagai material perkerasan jalan mengonsumsi energi sebesar 13,958 GJ sedangkan *Portland Concrete Cement* (PCC) sebesar 12,709 GJ, hal ini membuktikan bahwa penggunaan Rigid Pavement sebagai alternatif pengganti Flexible Pavement lebih hemat energi (Yu,2012).

1.1.5. Pentingnya Model Penilaian Energi Pada Proyek Infrastruktur

Peran perencana dan pelaksana bangunan dalam pemilihan material yang sesuai dengan kebutuhan proyek tanpa mengabaikan faktor lingkungan perlu menjadi perhatian khusus untuk mewujudkan komitmen Pemerintah dalam menurunkan pengaruh gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 secara mandiri salah satunya pada proyek konstruksi. Bentuk keseriusan pemerintah ini diwujudkan dengan menerbitkan beberapa peraturan diantaranya UU No. 28 tahun 2002, UU No. 32 tahun 2009, UU No. 16 tahun 2016 serta UUK No.2 tahun 2017. Dalam Penjelasan UUK No.2 tahun 2017 pada pasal 2 butir L dan M menyebutkan dengan tegas bahwa kegiatan pembangunan atau konstruksi bangunan harus memperhatikan faktor lingkungan sebagai salah satu landasan dasar asas pembangunan berkelanjutan dan wawasan lingkungan.

Aspek penting dalam perancangan jalan yang berkelanjutan adalah adanya pergerakan, ekologi, dan komunitas. Hal ini dinyatakan dalam beberapa contoh perancangan sampai dengan pelaksanaan konstruksi jalan. Pergerakan yang dimaksud adalah pergerakan pengguna jalan dan barang seluruh tujuan menggunakan semua moda (Greenberg E., 2008). *Green roads* merupakan standar yang diusulkan untuk mengukur praktik-praktik pembangunan berkelanjutan yang terkait dengan desain dan konstruksi jalan raya. Pembangunan berkelanjutan disini didefinisikan sebagai karakteristik sistem yang mencerminkan kemampuan sistem untuk mendukung hukum-hukum alam dan nilai-nilai kemanusiaan. *Green roads* berlaku untuk desain dan konstruksi jalan raya baru atau direhabilitasi termasuk perluasan atau mendesain ulang. Secara khusus, ini berlaku untuk proses desain, kegiatan konstruksi dalam *workzone*, serta kegiatan supply chain material (Greenroad V1.0 Manual, 2010).

Peran owner selaku pemilik dan pengguna bangunan sangat menentukan terutama pada tahap awal atau fase idea atau inisiasi yang akan berpengaruh sepanjang kegiatan proyek dan selama siklus hidup bangunan (Crowther, 1999). Pada tahap perencana (*design*), penelitian lebih pada strategi perencanaan bangunan dengan meminimalkan penggunaan material yang memiliki embodied energy tinggi, pada tahap pelaksana (*construction*) penelitian terfokus pada kebaruaran material, LCA, LCE dan optimalisasi metode konstruksi (Pullen, 1996; Crowther, 1999; Holtzhausen, 2007; Ramesh *et.al.*, 2010; Dixit *et.al.*, 2012), sedangkan pada tahap operasional (*O/M*) penelitian pada efisiensi penggunaan energi listrik dan pemanfaatan energi alternatif (Macias *et.al.*, 2017;

Waldron *et.al.*, 2013; Giordano *et.al.*, 2017). Penelitian di Indonesia, khususnya yang berhubungan dengan *Embodied Energi* dan *Operasional Energi* masih pada perbandingan material dan penilaian tingkat emisi pada desain bangunan baru dan bangunan yang sudah ada (Utama, 2008; Usep, 2015; Wahyuni, 2016). Jhon Orr (2017) mengatakan total emisi karbon pada masa konstruksi sebesar 17,5% dan masa operasional 82% serta sisanya pada masa pembongkaran atau akhir umur bangunan.

Berdasarkan kondisi diatas maka penting dilakukan penelitian terhadap upaya penurunan embodied energi dan operasional energi melalui model penilaian energi terutama pada masa siklus hidup proyek (PLC) dimulai dari fase idea atau inisiasi (*initiation*), perencana (*design*), pelaksana (*construction*) dan operasional (*operational*).

Pada penelitian ini akan membangun model penilaian (*assessment*) dalam rangka menurunkan pengaruh Energi (*Embodied Energy* dan *Operasional Energi*) ditinjau dari *Project Life Cycle* (PLC) pada proyek infrastruktur di mana melibatkan peran stakeholder, owner, user, konsultan perencana dan kontraktor. Model ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kegiatan proyek yang sudah dilaksanakan, sehingga dapat diketahui apakah sudah sesuai dengan batasan efisiensi dan optimalisasi energi yang diharapkan. Hasil evaluasi dapat dijadikan dasar optimalisasi pada proyek selanjutnya sehingga dapat mengurangi jumlah energi yang berdampak pada efisiensi dari segi biaya. Model dapat diimplementasikan secara mandiri dengan menggunakan indikator penilaian yang sudah terbentuk serta dapat diperbaharui sesuai kondisi dilapangan. Rumusan dan metode evaluasi dapat langsung diterapkan dengan mengikuti langkah dan tata cara penilaian sesuai standart operasional prosedur (SOP) yang ada.

1.2. IDENTIFIKASI MASALAH

Identifikasi masalah berdasarkan berbagai uraian yang disampaikan pada latar belakang masalah, yaitu:

1. Proyek konstruksi bertanggung jawab atas penggunaan 40% energi global, 25% air global dan 40% sumber daya global yang dipancarkan ke atmosfer 1/3 dari emisi dunia GHG, selain itu selama fase operasional bangunan sekitar 60% listrik dunia juga dikonsumsinya. Konsumsi energi akan menghasilkan CO₂, yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, sehingga energi yang terkandung dianggap sebagai indikator dampak lingkungan keseluruhan bahan bangunan dan sistem.

2. Penerapan *green construction* di Indonesia mengalami kendala diantaranya kesadaran masyarakat akan pentingnya manfaat dari bangunan hijau masih belum banyak, belum adanya kepastian jenis material ramah lingkungan yang dinyatakan oleh lembaga yang dilegitimasi dan ketentuan penggunaan peralatan konstruksi yang rendah emisi dan berbahan bakar alternatif, proses konstruksi dan proses administrasi yang lebih rumit, serta timbulnya biaya-biaya ekstra yang harus ditanggung kontraktor.
3. Penilaian siklus hidup energi khususnya pada embodied energi dan emisi CO_{2e} pada bangunan di Indonesia mengalami keterbatasan. Database yang komprehensif tentang material yang ramah lingkungan (*eco labeling*) dan manajemen energi pada bangunan infrastruktur sering tidak direncanakan, sehingga berdampak pada tingginya konsumsi energi dan emisi CO_{2e}.
4. Data *Green Building Council Indonesia* (GBCI) menyebutkan baru terdapat 20 bangunan gedung di Indonesia yang sudah tersertifikasi sebagai bangunan gedung hijau, sedangkan untuk bangunan Infrastruktur masih belum ada data jumlah proyek dan bangunan yang tersertifikasi. Hal ini menunjukkan tidak banyak Kontraktor dan Konsultan Indonesia yang mengetahui dan mengimplementasikan *Green Infrastructure*. Kondisi ini akan menjadi salah satu kendala upaya pemerintah untuk mencapai target penurunan emisi menjadi 29% pada tahun 2030 secara mandiri.
5. Penilaian energi (*Embodied Energy* dan *Operasional Energy*) belum banyak dilakukan secara terintegrasi mulai dari fase inisiasi, design, konstruksi dan operasional pada proyek infrastruktur.
6. Penelitian ini sangat diperlukan dalam rangka mendukung upaya penurunan energi dan emisi karbon pada proyek konstruksi selama proses *Project Life Cycle* (PLC). Penelitian ini diharapkan akan menghasilkan model penilaian energi baik embodied energi maupun operasional energi yang akan membantu Stakeholder, Owner, Konsultan Perencana dan Kontraktor dalam merencanakan dan melaksanakan pembangunan infrastruktur yang rendah energi.

1.3. PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang dan identifikasi masalah maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apa saja variabel-variabel energi (*Embodied* dan *Operasional energy*) pada proyek infrastruktur ?
2. Bagaimana pengaruh variabel-variabel energi pada proyek infrastruktur ?
3. Bagaimana pemahaman tingkat kepentingan dan implementasi dari variabel-variabel energi pada proyek infrastruktur?
4. Bagaimana model penilaian energi berdasarkan *Project Life Cycle* (PLC) pada proyek infrastruktur ?
5. Bagaimana optimalisasi energi pada proyek infrastruktur dengan menggunakan model penilaian energi terbangun?

1.4. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Pada penelitian bermaksud mengembangkan model penilaian energi pada proyek infrastruktur di Indonesia.

Tujuan Penelitian adalah:

1. Melakukan pemetaan variabel energy pada proyek infrastruktur.
2. Menganalisis pengaruh variabel-variabel energi pada proyek infrastruktur.
3. Mengevaluasi tingkat kepentingan dan implementasi dari variabel-variabel energi pada proyek infrastruktur.
4. Mendesain model penilaian energi yang berdasarkan *Project Life Cycle* (PLC) pada proyek infrastruktur.
5. Melakukan optimalisasi energi melalui simulasi model penilaian energi terbangun.

1.5. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang Manajemen Konstruksi, serta bermanfaat bagi akademisi dan peneliti untuk mengembangkan penelitian tentang efisiensi konsumsi energi dan emisi pada sektor konstruksi.

2. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang optimalisasi energi khususnya pada *Embodied Energy (EE)* dan *Operasional Energy (OE)* serta pengaruhnya pada proyek infrastruktur.
3. Membantu pelaku jasa konstruksi dalam mengukur tingkat konsumsi energi pada bangunan proyek infrastruktur dengan menggunakan model penilaian energi.
4. Memberikan masukan kepada pihak-pihak yang terlibat dalam kegiatan konstruksi dalam menyusun konsep standart penilaian konsumsi energi pada bangunan infrastruktur dan gedung publik untuk mendukung program pemerintah mencapai target penurunan emisi menjadi 29% pada tahun 2030 secara mandiri.

1.6. BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada beberapa hal antara lain:

1. Penelitian ini membangun model penilaian yang dapat digunakan dalam rangka menurunkan *Embodied Energy (EE)* dan *Operasional Energy (OE)* berdasarkan *Project Life Cycle (PLC)* pada proyek infrastruktur. Penelitian ini tidak menghitung volume, struktur bangunan, biaya proyek, dan waktu.
2. Penelitian ini berfokus pada model penilaian *Embodied Energy (EE)* dan *Operasional Energy (OE)* yang diukur dengan membangun indikator melalui beberapa variabel yang disusun berdasarkan kajian literatur serta pandangan dari para pakar.
3. Penyusunan instrument penelitian dibatasi pada proyek konstruksi Bangunan Infrastruktur yang mengacu pada regulasi *Green Building*.
4. Pengambilan sampel dilaksanakan pada kontraktor, konsultan dan stakeholder /pengguna di wilayah Yogyakarta dan Semarang.
5. Analisis kuantitatif penelitian untuk validasi melalui studi kasus pada pelaksanaan proyek infrastruktur mengambil data jenis Proyek Pekerjaan Jalan dan Jembatan Provinsi di wilayah Yogyakarta dan Jawa Tengah. Data diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Provinsi D.I. Yogyakarta dan Jawa Tengah pada Bidang Cipta Karya dan Bina Marga.
6. Tinjauan analisis estimasi energi pada proyek jalan dibatasi hanya pada jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*), sedangkan proyek jembatan pada jenis

konstruksi jembatan beton bertulang dengan bentang jembatan maksimum 150 meter.

1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

Rencana sistematika penulisan penelitian ini terdiri atas 6 (enam) bab, rincian dan isi masing-masing bab adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah (ruang lingkup), dan sistematika penulisan.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR

Berisi uraian teori tentang regulasi/peraturan yang berlaku, siklus hidup pada proyek konstruksi, *Project Life Cycle*, *Embodied Energy (EE)* dan *Operasional Energy (OE)*, serta Karbon Emisi yang pernah diteliti pada proyek infrastruktur, *roadmap* penelitian, posisi penelitian, fase pemodelan, dan kerangka berpikir.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi tentang metode penelitian, tempat dan waktu penelitian, tahapan penelitian, populasi dan sampel, teknik pengumpulan data, variabel dan instrumen penelitian dan teknik analisis data.

BAB 4 ANALISIS DATA PENELITIAN

Berisi tentang analisis data identitas responden, analisis indikator, pengolahan model penilaian, validasi dan simulasi model, serta analisis studi kasus.

BAB 5 PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Berisi tentang Pembahasan hasil analisis data, studi kasus dan model terbangun.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran atau rekomendasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN