

KAJIAN PENERAPAN ARSITEKTUR HIJAU PADA KANTOR PEMERINTAH KABUPATEN BOYOLALI

Fokus pada Nilai *Embodied Energy* Bangunan

Alifiano Rezka Adi

Prodi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta

Email: alifiano.rezka@staff.uty.ac.id

Abstract: *Green architecture approach comes as a solution of solving the energy and environmental crises. Boyolali regency office became the research object by focusing on the value of embodied energy to determine and evaluate the energy consumed from the manufacturing of the material until the construction phase. This study uses a simulation method with modeling strategy at the masterplan area and the existing area to measure the embodied energy of the buildings. The results showed that the larger of the ground floor area, the greater of the embodied energy value of the building. In addition, a building which has more floors will save the value of the embodied energy compared to a one floor building with the same floor area. The existing condition showed the saving of the embodied energy value by 22.64% towards the masterplan because of its smaller total ground floor area. The impact of the floor area and floor number is used in determining the design recommendations by combining several buildings into one building to reduce the total floor area as well as to convert most buildings into two-story buildings. The simulation results from the proposed recommendation showed the efficiency of the embodied energy value, which is more optimal, by 21,76% towards the existing condition.*

Keywords: *green architecture, embodied energy, office area, energy efficiency*

Abstrak: *Pendekatan arsitektur hijau hadir sebagai solusi dalam mengatasi permasalahan energi dan lingkungan. Kantor pemerintahan Boyolali dijadikan sebagai objek penelitian dengan berfokus pada nilai embodied energy untuk menentukan dan mengevaluasi energi yang digunakan dari proses pengolahan material bangunan hingga fase konstruksi bangunan. Penelitian menggunakan metode simulasi dengan strategi pemodelan pada masterplan kawasan serta kondisi eksisting kawasan untuk mengukur nilai embodied energy bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar luas permukaan lantai bangunan, semakin besar nilai embodied energy pada bangunan tersebut. Selain itu, jumlah lantai yang lebih banyak akan menghemat nilai embodied energy jika dibandingkan dengan bangunan satu lantai dengan luas lantai dasar yang sama. Kondisi eksisting menunjukkan penghematan nilai embodied energy sebesar 22,64% terhadap masterplan karena memiliki luas total lantai dasar lebih kecil. Dampak dari luas lantai dasar dan jumlah lantai digunakan dalam menentukan rekomendasi desain dengan menggabungkan beberapa bangunan menjadi satu untuk mengurangi luasan total lantai dasar sekaligus menjadikan bangunan-bangunan yang ada menjadi gedung berlantai dua. Hasil simulasi dari rekomendasi yang diusulkan menunjukkan efisiensi nilai embodied energy yang lebih optimal sebesar 21,76% terhadap kondisi eksisting.*

Kata kunci: *arsitektur hijau, embodied energy, kawasan perkantoran, efisiensi energi*

PENDAHULUAN

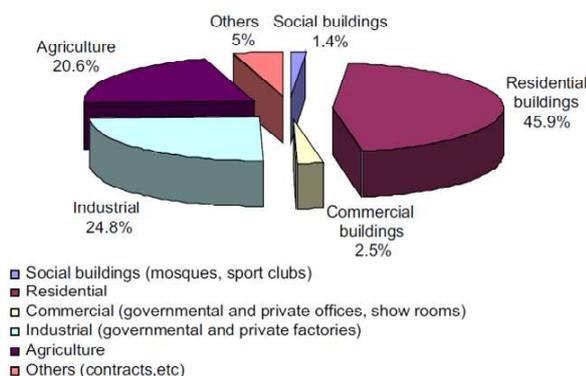
Di Indonesia, pertumbuhan penduduk tinggi dan menyebabkan peningkatan kebutuhan untuk beraktivitas menjadi sangat tinggi. Tempat untuk mewadahi kebutuhan dan aktivitas manusia seringkali mengorbankan lingkungan yang sudah terbangun secara alami, misalnya pembangunan

perumahan dan area komersial di atas lahan persawahan. Fenomena tersebut sering dijumpai di lingkungan sekitar dan dapat menjadi salah satu penyebab pemanasan global.

Maraknya isu perubahan iklim yang dialami seluruh wilayah di dunia memberikan tantangan kepada setiap penduduk di muka bumi untuk selalu memiliki perilaku serta pemikiran yang dapat

meminimalisir dampak buruk terhadap lingkungan. Perilaku yang ramah lingkungan sudah dan harus merupakan kewajiban semua orang saat ini, bukan lagi sebatas minat ataupun penekanan dalam dunia pendidikan ataupun pekerjaan. Arsitektur hijau dalam perkembangannya tidak dapat lagi hadir hanya sebatas konsep atau teori saja, namun perlu di terapkan secara nyata dengan desain dan rancangan yang ramah lingkungan (Kusumawanto dan Astuti, 2014).

Dalam beberapa tahun terakhir, ada upaya-upaya besar untuk mereduksi emisi *greenhouse gas* (GHG) dengan tujuan untuk memitigasi dampak buruk bagi kesehatan umat manusia serta memperlambat laju perubahan iklim global. Salah satu pendekatan kunci untuk menahan laju emisi GHG adalah dengan meminimalisir penggunaan energi (Chan dan Chow, 2014). Dijelaskan lebih lanjut bahwa bangunan, sebagai konsumen listrik terbesar di kota-kota modern saat ini, dapat memberikan kontribusi yang cukup besar untuk konservasi energi serta penghapusan GHG melalui kontrol pihak legislatif dan desain bangunan yang hemat energi dan ramah lingkungan. Secara global, bangunan mengkonsumsi sekitar 40% dari total konsumsi energi tahunan dunia (Omer, 2008; Radhi, 2009). Kondisi tersebut menjadi alasan diperlukannya suatu metoda untuk menganalisis suatu rancangan baik perancangan mikro ataupun makro sehingga dapat menjustifikasi performa suatu rancangan terkait dengan isu *sustainable* ataupun *green design* (Kusumawanto dan Astuti, 2014).

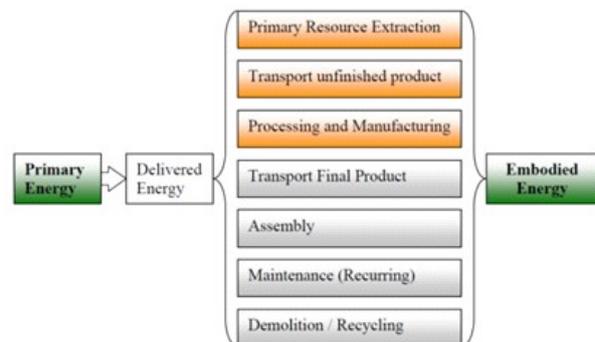


Gambar 1. Konsumsi energi tiap sektor (Sumber: Radhi, 2009)

Kawasan kantor Pemkab Boyolali dipilih menjadi objek penelitian karena merupakan salah satu kompleks yang dikembangkan menuju kawasan hijau. Nilai dari *embodied energy* bangunan dalam masterplan ini menjadi fokus yang dianalisis untuk

mengetahui dan mengevaluasi energi yang dikonsumsi mulai tahap pembuatan material hingga tahap konstruksi.

Embodied energy adalah jumlah energi yang dikonsumsi dalam seluruh proses produksi material atau sistem (Wuryanti, 2012). Nilai dari *embodied energy* menjadi salah satu parameter disamping *embodied carbon* dalam melakukan penilaian *Life Cycle Assessment* (LCA). *Embodied energy* merupakan nilai komulatif energi untuk ekstraksi sumber daya, energi transportasi bahan mentah, energi dalam proses dan fabrikasi, energi transportasi bahan jadi, energi perakitan, energi untuk perawatan, dan energi untuk demolisasi atau daur ulang (Haynes, 2010).



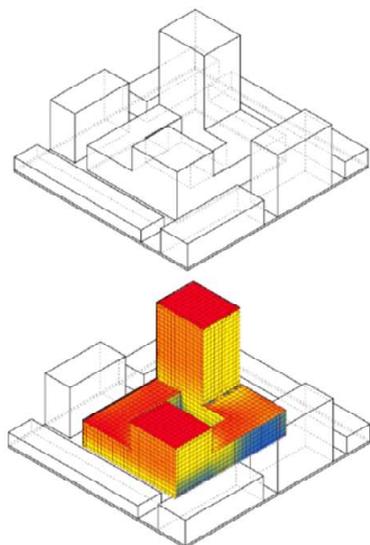
Gambar 2. Penjabaran perhitungan *embodied energy* (Sumber: Haynes, 2010)

Studi Eksperimental

Dalam beberapa tahun terakhir, bidang perkerayaan arsitektur telah mengalami progress yang signifikan dalam mengukur, memodelkan, dan memanipulasi performa kenyamanan dan energi suatu bangunan, yang juga masih menjadi *state-of-the-art* terkait alat simulasi yang mampu memprediksikan tingkat konsumsi energi bahkan pada masa yang akan datang. Oleh karena itu dibutuhkan alat simulasi yang dapat mengukur beberapa bangunan dalam suatu kawasan dengan mempertimbangkan aspek-aspek dalam kawasan, antara misalnya: efek iklim mikro, *urban heat island* dan kondisi aliran angin lokal (Reinhart dkk, 2013).

Dalam analisis suatu bangunan, metode eksperimental berupa simulasi energi diperlukan untuk mengetahui efek beberapa unsur yang menguras energi dalam bangunan seperti instalasi pengkondisian udara (Rattanongphisat dan Wathanyoo, 2014). Untuk skala yang lebih luas, informasi yang didapat dari model dapat mendukung

keputusan terkait penyediaan energi dan jaringan antar kota (Sehrawat dan Kensek, 2014).



Gambar 3. Model eksisting dan visualisasi hasil simulasi termal dalam metode simulasi (Sumber: Reinhart dan Dogan, 2013)

Perkembangan terakhir bidang simulasi bangunan telah menghadirkan berbagai macam *toolset* atau alat simulasi untuk keperluan rekayasa lingkungan. Metode ini memungkinkan para perencana dan perancang dalam memprediksi dan merekayasa kualitas arsitektur dan perhitungan *economic performance* yang tergambarkan melalui kenyamanan termal dan intensitas penggunaan energi (Reinhart dan Dogan, 2013).

Studi Eksperimental Skala Kawasan

Dalam konteks yang luas seperti kawasan atau perkotaan, analisis menggunakan metode *monitoring* akan memudahkan peneliti dalam mengolah data secara menyeluruh dalam beberapa langkah yang ringkas, namun menghasilkan data yang valid atau akurat. Contoh penelitian makro dengan metode *monitoring* telah dilakukan oleh Kusumawanto, Astuti, dan Wilopo tahun 2013 dalam menganalisis *life cycle* dalam sistem manajemen berkelanjutan kawasan *urban waterfront* di beberapa kota di Eropa Selatan. Sistem LCA model digunakan untuk memonitor proses revitalisasi kawasan *waterfront* melalui analisis kebiasaan (*behaviour*) di area *urban waterfront*. Penelitian dalam skala urban dengan metode sejenis adalah tentang *Green Urban Water-*

front Management Case di kota Solo oleh Kusumawanto dan Astuti tahun 2014. Penelitian ini mengaplikasikan meta-analisis Lourenco pada area pertumbuhan kota di kawasan *waterfront*. Output dari penelitian ini dapat diaplikasikan dalam model *life cycle analysis* (LCA) dan berkontribusi dalam kerangka kerja untuk manajemen yang berkelanjutan.

Terkait dengan *performance* dan tingkat konsumsi energi lingkungan, terdapat metode analisis yang relatif baru yaitu *urban modeling interface* atau disingkat UMI. Dalam website resmi (urbanmodellinginterface.ning.com) dijelaskan bahwa UMI merupakan *software* simulasi berbasis Rhino untuk arsitek dan perencana yang tertarik pada pemodelan kinerja lingkungan dan kota terkait dengan energi operasional, *walkability*, dan potensi pencahayaan alami.

Reinhart dkk (2013) mencoba meneliti tentang modul pola pergerakan berkelanjutan untuk model perancangan kota menggunakan metode simulasi UMI. Dalam penelitiannya disebutkan bahwa penggunaan UMI-*mobility* dapat mengukur dampak lingkungan dan aspek ekonomi dari tata guna lahan yang digunakan dalam suatu kawasan. Mobilitas manusia dari rumah ke fasilitas di sekitarnya dapat disimulasikan, sehingga memberikan gambaran bagaimana fasilitas tersebut berdaya guna.



Gambar 4. Visualisasi hasil simulasi UMI untuk energi operasional dan pencahayaan alami (Sumber: urbanmodellinginterface.ning.com)

Reinhart dkk (2013) juga menjelaskan lebih rinci tentang fitur-fitur simulasi yang disediakan dalam UMI melalui *modeling* menggunakan *software* Rhino. Analisis yang dapat dilakukan pada hasil simulasi dengan UMI pada kawasan tertentu antara lain adalah tingkat konsumsi energi, pencahayaan alami (*daylight*), kenyamanan termal, dan mobilitas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan strategi pemodelan pada masterplan kawasan

serta kondisi eksisting kawasan untuk mengukur nilai *embodied energy* bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efisiensi *embodied energy* bangunan di kompleks perkantoran Pemkab Boyolali mulai pada tahap masterplan hingga kondisi eksisting. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi pembangunan kantor ini serta memberikan rekomendasi untuk mencapai efisiensi *embodied energy* bangunan yang lebih optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Masterplan (Tahap 1)

Di dalam masterplan, kompleks perkantoran Pemkab Boyolali ini terletak di kawasan seluas 12 hektar yang merupakan area penghijauan sejuk dengan kondisi alam yang mendukung konsep arsitektur hijau untuk kawasan sehingga memungkinkan direalisasikannya konsep kawasan yang bebas kendaraan bermotor. Jalan lingkaran kawasan dibangun mengelilingi kompleks sebagai tepi batas luar kawasan sekaligus sebagai penghubung kompleks dengan jalan utama.

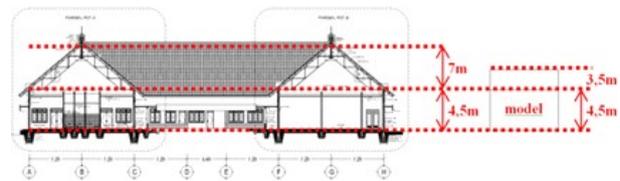


Gambar 5. Masterplan kawasan kantor Pemkab Boyolali. (Sumber: dokumentasi penulis, 2015)

Asumsi dalam pemodelan

Sebelum melakukan modeling bangunan pada kawasan, terlebih dahulu dilakukan asumsi modeling karena keterbatasan data awal yang diperoleh peneliti (Gambar 6). Asumsi awal adalah terkait dengan dimensi ketinggian bangunan dan atap bangunan. Ketinggian *floor to floor* tiap bangunan adalah 4,5 meter, sedangkan ketinggian atap adalah 7 meter. Ukuran ini merujuk pada gambar tampak dan potongan bangunan tipikal. Atap limasan diasumsikan sebagai ruang kotak dengan ketinggian 3,5 meter (setengah dari ketinggian atap 7 meter). Dengan begitu, bangunan satu lantai dimodelkan

dalam UMI sebagai ruang kotak dengan ketinggian total 8 meter dan untuk bangunan 2 lantai memiliki ketinggian total 12,5 meter. Sedangkan *shading* dari tritisan atap dibuat bidang planar dengan ketinggian 4,5 meter untuk bangunan 1 lantai dan 9 meter untuk bangunan 2 lantai.



Gambar 6. Asumsi pemodelan dengan UMI (Sumber: analisis penulis, 2015)

Asumsi berikutnya adalah terkait dengan *weather file* yang digunakan untuk simulasi UMI. *Weather file* ini menjadi salah satu input data UMI dalam bentuk file (.epw) yang harus ditentukan untuk mengetahui data iklim yang akan berdampak pada energi bangunan yang akan disimulasikan. Dalam simulasi kawasan ini, *weather file* yang digunakan adalah *weather file* kota Mojosoongo (Gambar 7).

WEATHER DATA SUMMARY												
LOCATION: Mojosoongo_Central_Java, Mojosoongo_Central_Java, Mojosoongo_Central_Java												
Latitude/Longitude: 7.556° South, 110.629° East, Time Zone from Greenwich 7												
Data Source: TMY3 403331 WMO Station Number, Elevation 302 m												
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	527	454	520	556	558	538	540	598	414	526	490	549
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	491	297	296	449	509	589	520	537	206	400	371	402
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	219	219	211	211	172	172	160	178	179	196	195	200
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1026	1061	1064	1002	929	859	919	1004	1049	1073	1065	1050
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	893	633	627	826	879	794	873	875	616	836	846	914
Diffuse Radiation (Max Hourly)	893	633	627	826	879	794	873	875	616	836	846	914
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	6380	5263	5233	6306	6364	6190	6180	6811	4174	5886	6048	6714
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	4480	3302	4262	4736	5267	5151	5146	5520	3266	4692	4197	5303
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	2464	2463	2293	2100	1724	1716	1607	1813	1915	2299	2271	2322
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27	26
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	22	23	23	23	22	21	20	19	20	22	23	23
Relative Humidity (Avg Monthly)	83	82	83	81	73	72	71	64	68	72	78	81
Wind Direction (Monthly Mode)	210	230	230	160	160	140	140	140	160	180	180	210
Wind Speed (Avg Monthly)	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1

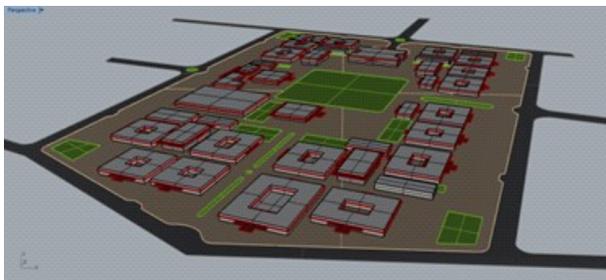
Gambar 7. Data iklim kota Mojosoongo sebagai asumsi simulasi UMI di kota Boyolali (Sumber: climate consultant, 2015)

Data iklim diatas menunjukkan beberapa informasi penting yang dapat menggambarkan kondisi iklim kota Boyolali secara umum. Temperatur suhu rata-rata berkisar 26,50C, kelembaban rata-rata berkisar 75,5%, dan kecepatan angin berkisar 1,5 m/s. Secara umum iklim di kota Mojosoongo memiliki kesamaan dengan iklim kota-kota di pulau Jawa karena terletak pada garis lintang yang relatif sama. Secara tidak langsung, proses pemodelan ataupun hasil simulasi dapat dipelajari pada kasus yang sama dikota-kota lain di pulau Jawa

karena memiliki karakter iklim yang relatif sama.

Pemodelan Masterplan

Modeling kawasan masterplan Pemkab Boyolali dilakukan menggunakan *software* Rhinoceros dan simulasi menggunakan *Urban Modeling Interface* (UMI) yang telah terintegrasi dengan Rhinoceros. *Modeling* dilakukan pada 38 bangunan yang terdapat pada kawasan tersebut. Dari 38 bangunan yang dimodelkan, mayoritas sebanyak 33 bangunan merupakan bangunan 1 lantai, sedangkan 5 bangunan sisanya berupa bangunan rapat dan gedung DPRD merupakan bangunan 2 lantai.



Gambar 8. Modeling Masterplan Kawasan menggunakan *software* Rhinoceros (Sumber: analisis penulis, 2015)

Asumsi berikutnya adalah material dan luasan bukaan pada tiap bangunan yang disimulasikan. Bangunan diasumsikan dibangun menggunakan jenis konstruksi beton bertulang yang dalam building template di dalam *software* UMI dideskripsikan sebagai “CZ3_Office_ConcFrame”. Sedangkan luasan bukaan di dalam UMI tergambar dalam bentuk WWR atau *window to wall ratio*. Seluruh bangunan dalam model masterplan ini diasumsikan memiliki WWR sebesar 40% di tiap sisi masing-masing bangunan. Artinya adalah luas bukaan atau jendela adalah sebesar 40% dari total luas permukaan dinding dalam satu bangunan.

Analisis Embodied Energy Masterplan

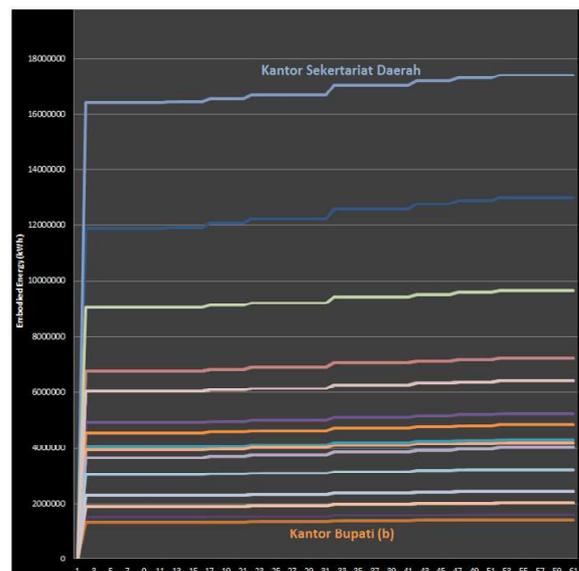
Hasil simulasi UMI menunjukkan nilai *embodied energy* yang bervariasi. Variasi ini didapatkan dari beberapa bangunan yang memiliki luasan lantai ataupun ketinggian bangunan yang berbeda-beda. Untuk bangunan dengan luas lantai dan ketinggian yang sama memiliki nilai *embodied energy* yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *embodied energy* tidak terpengaruh keberadaan bangunan sekitar ataupun *shading* yang memberikan

pembayangan terhadap bangunan yang bersangkutan.



Gambar 9. Visualisasi hasil running simulasi *embodied energy* pada masterplan (Sumber: analisis penulis, 2015)

Data output simulasi dari *embodied energy* UMI terbagi kedalam tiga jenis *embodied energy* yaitu *embodied energy* total bangunan, *embodied energy* *façade* bangunan, dan *embodied energy* kaca yang digunakan pada bangunan tertentu. Data hasil simulasi dari ketiga jenis *embodied energy* tersebut dikalkulasi selama periode 60 tahun setelah tahap konstruksi. Dari data ini diketahui bahwa seluruh bangunan dalam kawasan yang disimulasikan memiliki kecenderungan yang sama bahwa semakin lama umur bangunan tersebut maka semakin besar nilai *embodied energy* nya (Gambar 10). Hal tersebut dapat dipahami bahwa energi yang terkandung dalam bangunan dan materialnya semakin lama akan semakin menimbulkan dampak negatif ke lingkungan sekitar baik dalam bentuk limbah, emisi gas, ataupun beban lingkungan yang lainnya.

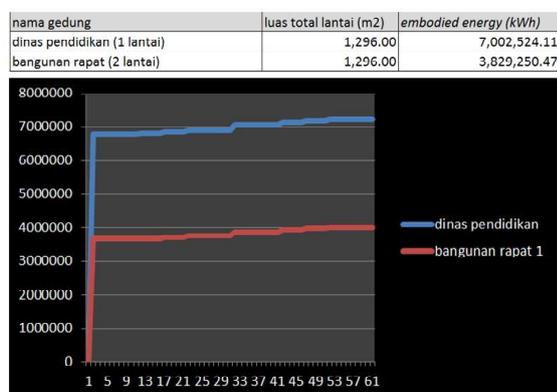


Gambar 10. Grafik nilai *embodied energy* masterplan seluruh bangunan selama 60 tahun (Sumber: analisis penulis, 2015)

Dari grafik diatas, terlihat bahwa kantor sekertariat daerah (sekda) memiliki nilai *embodied energy* terbesar dibandingkan bangunan-bangunan lainnya. Hal ini dapat dipahami karena kantor sekda memiliki luas lantai yang besar dibandingkan bangunan di sekelilingnya. Sedangkan ruang “kantor bupati (b)” memiliki nilai *embodied energy* terkecil diantara bangunan lainnya. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa semakin luas lantai suatu bangunan, semakin besar *embodied energy* bangunan tersebut.

Apabila dilakukan perbandingan pada beberapa sampel bangunan yang mewakili kelompok bangunan dengan luasan yang sama, setidaknya terdapat 8 kelompok bangunan dengan luas lantai yang sama. Dari perbandingan nilai *embodied energy* 8 kelompok bangunan tersebut, kantor Sekda mengalami kenaikan nilai *embodied energy* lebih banyak dibandingkan bangunan kantor bupati yang hampir tidak terlihat kenaikan nilai *embodied energy* nya selama periode 60 tahun. Hal tersebut menunjukkan bahwa bangunan dengan luas lantai yang kecil akan memiliki nilai *embodied energy* yang kecil dan relatif tidak menimbulkan dampak negatif ke lingkungan dalam jangka waktu yang lama.

Selain terkait dengan luas lantai bangunan, nilai *embodied energy* juga dapat dianalisis berdasarkan perbedaan ketinggian bangunan. Ketinggian bangunan yang dibandingkan adalah bangunan 2 lantai dan bangunan 1 lantai yang memiliki luas lantai dasar yang sama (Gambar 11). Bangunan 2 lantai menggunakan sampel bangunan rapat dengan luas total lantai 1296 m², sedangkan bangunan 1 lantai menggunakan sampel bangunan Dinas Pendidikan yang memiliki luas lantai dasar 1296 m².



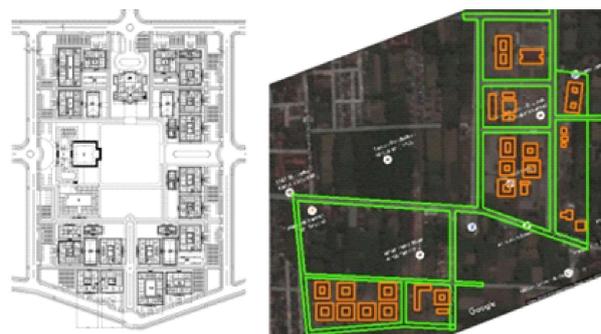
Gambar 11. Grafik perbandingan bangunan 2 dan 1 lantai dengan luas lantai dasar yang sama (Sumber: analisis penulis, 2015)

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan luas lantai dasar yang sama, “bangunan rapat 1” memiliki nilai *embodied energy* jauh lebih kecil sekitar 45% dibandingkan bangunan Dinas Pendidikan. Data tersebut juga menunjukkan bahwa bangunan bertingkat memiliki nilai *embodied energy* yang lebih kecil dibandingkan bangunan 1 lantai meskipun memiliki luas lantai dasar yang sama. Dari kondisi tersebut, dapat dipahami bahwa bangunan bertingkat memiliki efisiensi proses konstruksi yang lebih baik dibandingkan bangunan 1 lantai dengan luas lantai dasar yang sama. Efisiensi dalam proses konstruksi akan berpengaruh pada nilai *embodied energy* bangunan yang lebih kecil.

Simulasi Kondisi Eksisting (Tahap 2)

Kondisi eksisting Pemkab Boyolali

Dalam pembangunannya di lapangan, terdapat perbedaan pada beberapa bangunan yang terbangun dengan rencana pembangunan di masterplan. Perbedaan terutama pada lahan yang digunakan untuk pembangunan. Pembangunan di lapangan saat ini menggunakan separuh luasan lahan pada masterplan, yaitu pada sisi barat dengan ditambah lahan di luar site yaitu di area sebelah Barat Daya kompleks perkantoran yang ada di dalam masterplan (Gambar 12). Selain alokasi site dan luasan site yang dibangun, perbedaan lain terlihat pada perletakan unit-unit perkantoran dan akses jalan yang melingkupinya.



Gambar 12. Perbandingan masterplan dengan kawasan terbangun Pemkab Boyolali (Sumber: analisis penulis, 2015)

Meskipun terdapat perbedaan *layout* ruang dan alokasi site yang digunakan, program ruang yang dibangun tidak terdapat perbedaan dengan masterplan. Mayoritas kantor yang dibangun merupakan bangunan satu lantai dimana ruang berbentuk persegi/persegi panjang dengan ruang

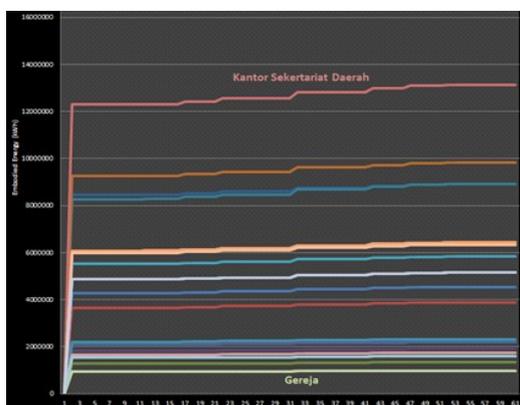
innercourt dibagian tengahnya. Beberapa bangunan yang memiliki ketinggian dua lantai antara lain adalah gedung DPRD, gedung Sekretariat Daerah, gedung Disbudpar, serta gereja Katolik. Hal ini berbeda dengan rancangan masterplan dimana gedung berlantai dua hanya terdapat pada empat buah gedung rapat.



Gambar 13. Beberapa bangunan di kompleks kawasan Pemkab Boyolali saat ini (Sumber: dok. penulis, 2015)

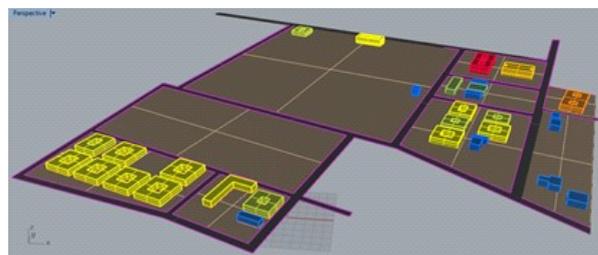
Analisis embodied energy kondisi eksisting.

Unit bangunan yang dimodelkan pada kondisi eksisting berjumlah 31 unit bangunan. Mayoritas sebanyak 27 bangunan merupakan bangunan 1 lantai, sedangkan 4 bangunan sisanya merupakan bangunan 2 lantai. Data *output* simulasi dari embodied energy UMI pada kondisi eksisting menunjukkan kecenderungan yang sama dengan data *output* simulasi pada saat pemodelan *masterplan*, yaitu semakin lama umur bangunan maka semakin besar nilai embodied energy bangunan (Gambar 14).



Gambar 14. Grafik nilai embodied energy kondisi eksisting seluruh bangunan selama periode 60 tahun (Sumber: analisis penulis, 2015)

Grafik diatas menunjukkan bahwa kantor sekretariat daerah (sekda) memiliki nilai embodied energy terbesar dibandingkan bangunan-bangunan lainnya. Kondisi ini sama dengan kondisi masterplan karena kantor sekda memiliki luas lantai dasar terbesar dibandingkan bangunan lainnya. Sedangkan bangunan Gereja memiliki nilai embodied energy terkecil karena memiliki luas lantai dasar terkecil. Sebagaimana hasil simulasi pada tahap sebelumnya, semakin besar luas lantai dasar bangunan, semakin besar pula nilai embodied energy bangunan tersebut.



Gambar 15. Visualisasi hasil running simulasi embodied energy pada kondisi eksisting kantor Pemkab Boyolali. (Sumber: analisis penulis, 2015)

Analisis berikutnya adalah dengan melakukan perbandingan total embodied energy antara kondisi eksisting dengan masterplan. Dari hasil simulasi selama periode 60 tahun, nilai total embodied energy kondisi eksisting lebih kecil sekitar 22,64% dibandingkan total embodied energy masterplan (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan nilai total embodied energy tahap 1 dan tahap 2

REKAP EMBODIED ENERGY	TAHAP 1	TAHAP 2
	Masterplan	Eksisting
Total Luas (m2)	40,739.07	30,719.97
Total Embodied Energy (kWh)	196,773,882.49	152,231,178.14
Efisiensi Embodied Energy (kWh)		11,542,701.35
		22.64%

(Sumber: Analisis penulis, 2015)

Data dalam tabel menunjukkan bahwa total luas lantai bangunan pada kondisi eksisting lebih kecil dibandingkan total luas lantai bangunan pada kondisi masterplan. Kondisi ini dibarengi dengan nilai embodied energy kondisi eksisting yang lebih kecil dibandingkan kondisi masterplan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil total luas lantai bangunan, semakin kecil pula nilai embodied energy total bangunan dikawasan tersebut.

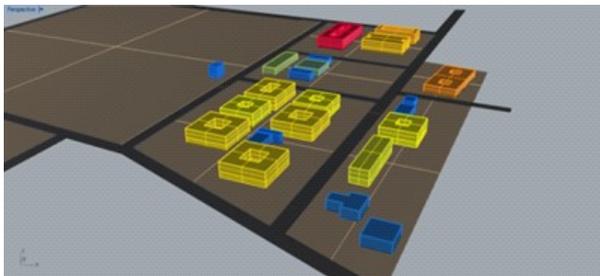
Rekomendasi Rancangan (Tahap 3)

Evaluasi kondisi eksisting

Upaya penghematan pada kondisi eksisting dapat lebih optimal dengan melakukan beberapa rekayasa. Berdasarkan hasil simulasi pada tahap sebelumnya, luas lantai dasar dan jumlah lantai bangunan menjadi faktor penentu tingginya nilai *embodied energy* total dalam kompleks perkantoran ini. Berdasarkan kondisi tersebut, maka rekomendasi yang diusulkan adalah dengan mengurangi luasan lantai dasar yang ada dengan menggabungkan beberapa bangunan menjadi satu unit bangunan.

Modeling Rekomendasi Desain

Pengurangan luas total lantai dasar dilakukan dengan mengurangi jumlah bangunan pada kondisi eksisting. Bangunan-bangunan satu lantai pada bagian Selatan digabungkan dengan bangunan satu lantai di area Utara. Dengan demikian, bangunan-bangunan yang direncanakan dalam tahap rekomendasi desain adalah gedung-gedung berlantai dua dengan site terbangun yang lebih kompak dan tidak seluas pada kondisi eksisting (Gambar 16).



Gambar 16. Visualisasi hasil running simulasi *embodied energy* pada tahap rekomendasi desain (Sumber: analisis penulis, 2015)

Dasar penentuan bangunan yang dipilih untuk digabungkan dalam tahap ini adalah bangunan yang hanya berlantai satu serta memiliki luasan yang sama atau hampir sama sehingga tidak terlalu merubah program ruang dan luasan ruang yang direkomendasikan untuk fungsi dinas tertentu. Bangunan-bangunan yang dipindah dan digabung dengan yang lain antara lain gedung Dinas Perikanan, Dinsosnaker Trans, Dinkop dan UKM, Disperindag, Badan Lingkungan Hidup, Bapermasdes, Distanbunhud, Disnakan, BP3AKB, BKP3, dan ULP. Khusus untuk bangunan gedung Disbudpar yang pada kondisi eksisting berada di sisi

ujung utara site, dalam rekomendasi dipindahkan ke sisi Timur dekat dengan bangunan gedung DPRD, namun tidak digabungkan dengan fungsi kedinasan yang lainnya.

Tabel 2. Daftar bangunan yang disimulasikan dalam rekomendasi desain beserta gedung dengan gabungan dua fungsi (warna kuning)

no	nama gedung	luas total lantai (m2)	<i>embodied energy</i> (kWh)
1	BKP3 & dinas perikanan	1,866.24	6,390,775.28
2	pendopo	775.62	3,762,170.49
3	satpol PP	377.99	2,261,101.16
4	disbudpar	1,502.40	9,127,296.62
5	samping pendopo 1	237.84	1,567,723.77
6	tempat wudhu	107.18	959,010.23
7	kesbangpol	314.58	1,861,377.80
8	BP3AKB & ULP	1,710.00	5,584,865.31
9	dinas kependudukan & bapermasdes	1,866.24	6,390,775.28
10	gedung DPRD	3,045.38	8,582,442.12
11	disperindagar & disperindag	2,342.52	7,993,406.48
12	bappeda & BLH	2,298.24	7,870,121.41
13	dinas pendidikan n olga	1,950.48	9,531,705.47
14	kantor inspektorat & dinsosnaker trans	2,342.52	7,993,406.48
15	gereja Kristen	130.00	961,108.68
16	masjid	278.65	1,698,259.75
17	gereja katolik	260.00	1,304,716.26
18	RPMPPT, dinkop, UKM	1,866.24	6,390,775.28
19	samping pendopo 2	237.84	1,567,723.77
20	sekretariat daerah	3,792.96	12,701,400.45
21	distanbunhud & disnakan	2,342.52	7,993,406.48
22	kantor bupati	855.00	4,403,599.80
23	mushola	400.00	2,212,943.82
	Total	30,900.44	119,110,112.20

(Sumber: Analisis penulis, 2015)

Hasil simulasi pada tahap rekomendasi desain ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan total *embodied energy* yang ada dalam satu kawasan tersebut. Penurunan nilai *embodied energy* juga menunjukkan selisih yang cukup besar yaitu mencapai 21,76% lebih kecil dibandingkan simulasi kondisi eksisting (Tabel 3).

Tabel 3. Perbandingan nilai total *embodied energy* tahap 2 dan tahap 3

REKAP EMBODIED ENERGY	TAHAP 2	TAHAP 3
	Eksisting	Rekomendasi
Total Luas (m2)	30,719.97	30,900.44
Total Embodied Energy (kWh)	152,231,178.14	119,110,112.20
Gap Embodied Energy (kWh)		33,121,065.94
		21.76%

(Sumber: Analisis penulis, 2015)

Tabel di atas menunjukkan bahwa penggabungan beberapa fungsi kedinasan menjadi satu gedung berlantai dua tidak terlalu merubah total luas lantai bangunan. Dengan jumlah lantai yang meningkat pada tahap rekomendasi, maka didapatkan nilai *embodied energy* yang lebih kecil dibandingkan tahap eksisting.

Tabel 4. Perbandingan hasil simulasi *embodied energy* seluruh tahap

REKAP EMBODIED ENERGY	TAHAP 1	TAHAP 2	TAHAP 3
	Masterplan	Eksisting	Rekomendasi
Total Luas (m2)	40,739.07	30,719.97	30,900.44
Total Embodied Energy (kWh)	196,773,882.49	152,231,178.14	119,110,112.20
Gap Embodied Energy (kWh)		44,542,704.35	33,121,065.94
		22.64%	21.76%

(Sumber: Analisis penulis, 2015)

Jika dilihat secara keseluruhan, ketiga kondisi kawasan perkantoran mulai dari kondisi masterplan, eksisting, hingga rekomendasi memiliki perbedaan nilai total *embodied energy* yang cukup besar (Tabel 4). Perubahan *embodied energy* pada kondisi eksisting terutama dipengaruhi oleh luas lantai dasar bangunan. Pada sisi lain, perubahan *embodied energy* pada rekomendasi desain dipengaruhi oleh jumlah lantai bangunan.

KESIMPULAN

Perhitungan nilai *embodied energy* dilakukan untuk mengukur seberapa efisien energi yang digunakan dalam siklus suatu bangunan atau beberapa bangunan. Kompleks perkantoran Boyolali memiliki nilai total *embodied energy* yang cukup besar karena terdiri dari beberapa unit bangunan. Pengurangan jumlah unit bangunan yang terjadi pada kondisi eksisting dapat meminimalisir nilai *embodied energy* bangunan dibandingkan kondisi masterplan. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa luas lantai bangunan yang semakin kecil akan mengurangi total *embodied energy* bangunan pada suatu kawasan tertentu.

Upaya efisiensi energi dapat lebih dioptimalkan pada tahap rekomendasi desain dengan menggabungkan beberapa bangunan satu lantai menjadi satu unit bangunan dua lantai. Meskipun memiliki luas total lantai yang relatif sama, nilai *embodied energy* pada rekomendasi desain lebih kecil dibandingkan kondisi eksisting. Rekomendasi desain tersebut diharapkan dapat menuntun pembangunan kedepan untuk lebih berorientasi pada bangunan 2 lantai atau lebih, dibandingkan bangunan 1 lantai.

Daftar Pustaka

Astuti, Z B; Kusumawanto, A. 2014. *Arsitektur Hijau dalam Inovasi Kota*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta

Astuti, Z B; Kusumawanto, A. 2014. *Green Urban Waterfront Management Case of Solo*, Indonesia. *Journal Of Architecture & Environment* 13.2: pp. 175-194.

Astuti, Z B; Kusumawanto, A; Wilopo, W. 2013. *Urban Waterfront Sustainable Management Within Life Cycle Analysis Case: South European Cities*. *ASEAN Journal of Systems Engineering* 1.2

Chan, A.L.S.; Chow, T.T. 2014. *Calculation of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) for Commercial Buildings Constructed with Naturally Ventilated Double Skin Facade in Subtropical Hong Kong*. *ELSEVIER Energy and Buildings* 69: pp. 14–21

Haynes, R. 2010. *Embodied Energy Calculations within Life Cycle Analysis of Residential Buildings*

Omer, A M. 2008. *Energy, Environment and Sustainable Development*. *ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: pp. 2265–2300

Radhi, H. 2009. *Evaluating The Potential Impact of Global Warming on The UAE Residential Buildings – A Contribution to Reduce The CO2 Emissions*. *ELSEVIER Building and Environment* 44: pp. 2451–2462

Rattanongphisat, W; Rordprapat, W. 2014. *Strategy for Energy Efficient Buildings in Tropical Climate*. *ELSEVIER Energy Procedia* 52: pp 10 – 17

Reinhart, C F; Dogan, T. 2013. *Automated Conversion Of Architectural Massing Models Into Thermal ‘Shoebox’ Models*. *PROCEEDINGS of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*

Reinhart, C F; Dogan, T; Jakubiec, J A; Rakha, T; Sang, A. 2013. *UMI - An Urban Simulation Environment for Building Energy Use, Daylighting And Walkability*. *PROCEEDINGS of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*

Sehrawat, P; Kensek, K. 2014. *Urban Energy Modeling: GIS As An Alternative to BIM*. *ASHRAE Building Simulation Conference*

Wuryanti, W. 2012. *Keputusan Multikriteria Dalam Menilai Konstruksi Rumah Tinggal Terhadap Lingkungan*. *Jurnal Permukiman* Vol. 7 No. 2: pp 66-75