

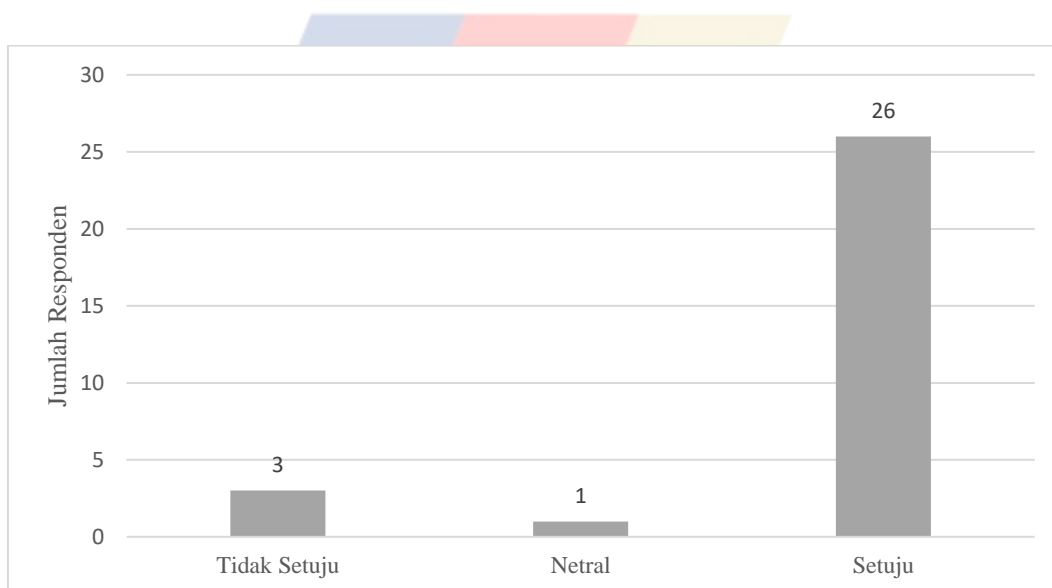
Bab V Pembahasan

V.1 Tingkat Kesiapterapan Implementasi BIM untuk Mengintegrasikan Desain Berstandar *Greenship*, EDGE, dan WELL

Berdasarkan hasil kuesioner yang telah dilakukan, terdapat 15 variabel yang dianalisis untuk menemukan tingkat kesiapterapan implementasi BIM untuk mengintegrasikan desain berstandar *Greenship*, EDGE, dan WELL. X1.1 hingga X1.5 mengukur tentang kemampuan BIM dalam pengerjaan proyek secara umum. X2.1 hingga X2.3 mengukur tentang kemampuan BIM dalam membantu proses sertifikasi *Greenship*. X3.1 hingga X3.3 mengukur tentang kemampuan BIM dalam membantu proses sertifikasi EDGE. X4.1 hingga variabel X4.3 mengukur tentang kemampuan BIM dalam membantu proses sertifikasi WELL. X5 mengukur tentang kemampuan BIM dalam mengintegrasikan penilaian *Greenship*, EDGE, dan WELL. Variabel-variabel tersebut dikelompokkan berdasarkan objek penilaian dalam masing-masing variabel.

X1.1 memiliki nilai rata-rata (mean) sebesar 5,67 dan nilai varians sebesar 3,22 yang menandakan bahwa penggunaan BIM cukup umum digunakan dalam bidang konstruksi namun masih terdapat perusahaan yang belum menggunakan BIM. Hal ini berhubungan dengan tingkat pemahaman BIM dimana nilai yang didapatkan adalah 3,87 dari 5. Tingkat pemahaman BIM cukup tinggi karena dari 30 orang responden, 22 orang memiliki pengalaman menggunakan BIM. Selain itu, penetrasi penggunaan BIM di Indonesia baru dilakukan pada tahun 2017 dan hanya terfokus pada perusahaan BUMN (Heryanto dkk., 2020) sehingga dapat dimaklumi jika terdapat perusahaan yang belum menggunakan BIM. Hal ini didukung oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 di mana pengaplikasian BIM hanya diwajibkan untuk bangunan gedung negara, bukan bangunan gedung secara umum. Selain itu, pembangunan bangunan gedung negara seperti Kementerian BUMN, Stadion Internasional Jakarta, Rumah Sakit Unit Pelaksana Teknis Kupang, Universitas Negeri Yogyakarta, dan Bandara Internasional Yogyakarta Kulon Progo dilaksanakan oleh kontraktor BUMN karya (Wijaya Karya, Utama Karya, Waskita Karya, dan Pembangunan Perumahan). Oleh karena itu, besar kemungkinan masih terdapat perusahaan konstruksi yang belum memakai BIM dalam mengerjakan proyek konstruksi.

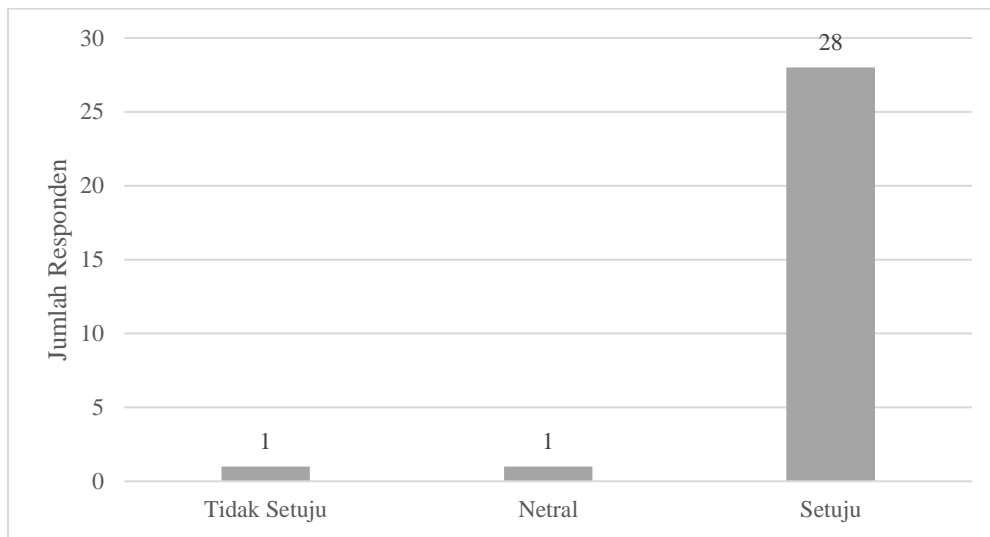
X1.2 mewakili angka efektivitas BIM dalam tahap pra-konstruksi. Tahap pra-konstruksi yang dimaksud adalah pada tahap desain, penyusunan *bill of quantity*, dan lain sebagainya. X1.2 memiliki nilai rata-rata sebesar 5,83 yang berarti BIM dapat membantu pengerjaan proyek pada tahap pra-konstruksi. Namun, nilai varians yang didapatkan masih cukup besar yaitu sebesar 2,14 yang berarti terdapat beberapa responden yang tidak setuju bahwa penerapan BIM saat ini efektif dalam tahap pra-konstruksi. Hal ini ditunjukkan dengan hasil kuesioner yaitu terdapat 3 responden yang tidak setuju bahwa penerapan BIM saat ini efektif dalam tahap pra-konstruksi, 1 responden netral, dan 26 responden setuju bahwa penerapan BIM saat ini efektif dalam tahap pra-konstruksi. Hasil kuesioner ini didukung dengan keadaan di lapangan dimana BIM dianggap cukup membantu dalam hal meminimalisir kesalahan desain dengan fitur *clash detection* yang dimiliki BIM (Mieslenna & Wibowo, 2019).



Gambar V.1 Penilaian Responden terhadap Efektivitas BIM dalam Tahap Pra-Konstruksi
(Sumber: Olahan Pribadi)

X1.3 memiliki nilai rata-rata sebesar 5,93 yang berarti responden setuju bahwa BIM dapat membantu pengerjaan proyek pada tahap konstruksi. Nilai varians yang diperoleh pun cukup kecil yaitu sebesar 1,46 yang berarti hampir seluruh responden memiliki pendapat yang sama yang dibuktikan dengan 28 responden setuju, 1 responden netral, dan 2 responden tidak setuju. Hal ini menyatakan bahwa BIM dapat membantu pengerjaan proyek lebih efektif pada tahap konstruksi karena pada tahap konstruksi, terdapat perubahan-perubahan yang mungkin terjadi dan BIM dapat membantu dalam hal pemodelan secara langsung ke seluruh *stakeholder*. Hasil

kuesioner ini didukung dengan keadaan di lapangan dimana BIM dianggap dapat mengendalikan proyek dan mengurangi limbah material (Mieslenna & Wibowo, 2019).

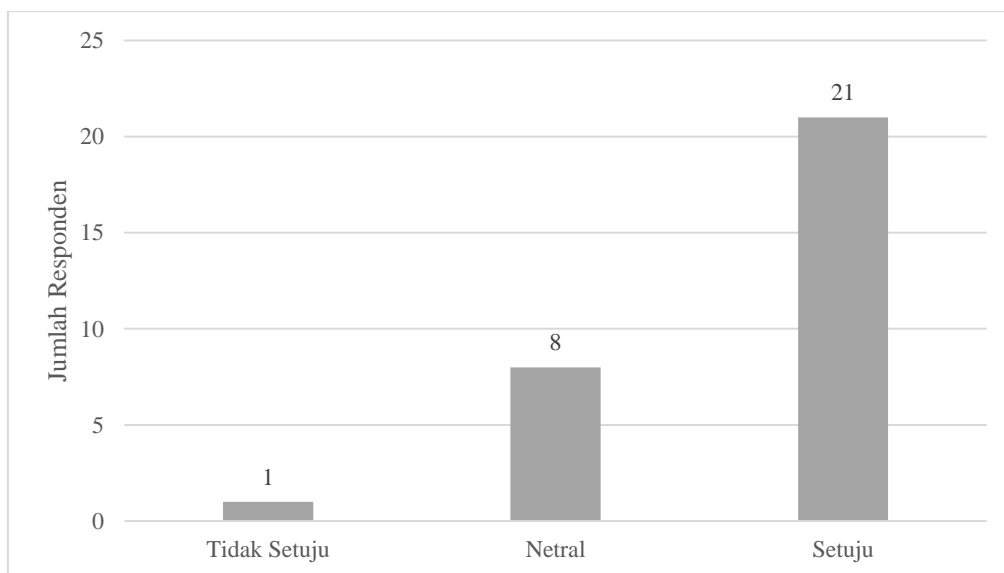


Gambar V.2 Penilaian Responden terhadap Efektivitas BIM dalam Tahap Konstruksi
(Sumber: Olahan Pribadi)

X1.4 mengukur tentang kemampuan BIM dalam mempermudah komunikasi dan pertukaran informasi antar *stakeholder* eksternal. Variabel ini memiliki nilai rata-rata sebesar 6,13 dengan nilai varians 1,05. Hal ini menyatakan bahwa sebagian besar responden setuju bahwa BIM dapat mempermudah komunikasi dan pertukaran informasi antar *stakeholder* eksternal. Pertukaran informasi yang dimaksud adalah pembaruan data atau desain yang digunakan dalam pengerjaan proyek. BIM dapat memberikan informasi terkait perubahan yang dilakukan oleh salah satu *stakeholder* kepada seluruh *stakeholder* sehingga dapat membuat pengerjaan proyek lebih efisien (Carvalho dkk., 2020). Hasil kuesioner ini didukung dengan tujuan BIM yaitu untuk memudahkan kolaborasi antar *stakeholder* (Rayendra & Soemardi, 2014).

X1.5 mengukur tentang kemampuan BIM dalam mempermudah informasi dengan internal tim proyek. Variabel ini mempunyai nilai rata-rata paling tinggi yaitu sebesar 6,17 dan mempunyai nilai varians paling kecil yaitu sebesar 1,01. Hal ini menyatakan bahwa BIM dapat membantu pengerjaan proyek paling efektif dalam hal komunikasi dengan sesama anggota tim proyek. Hasil kuesioner ini didukung dengan peran BIM sendiri dimana BIM dianggap dapat memberikan informasi secara cepat kepada seluruh anggota proyek (Rayendra & Soemardi, 2014).

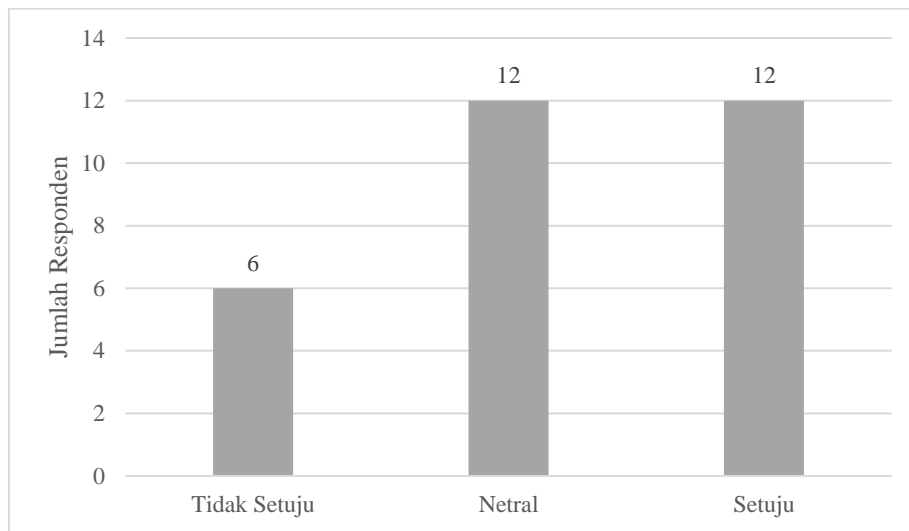
X2.1 mengukur tentang kemampuan BIM dalam membantu penilaian *Greenship*. Variabel ini memiliki nilai rata-rata sebesar 5,4 dan nilai varians sebesar 1,51. Hal ini mengindikasikan bahwa responden merasa BIM cukup dapat membantu proses penilaian di dalam kriteria *Greenship*. Pernyataan ini didapatkan dari hasil kuesioner dimana 21 responden setuju, 8 responden netral, dan 1 responden tidak setuju bahwa BIM dapat membantu penilaian *Greenship*. Hasil kuesioner ini didukung dengan percobaan implementasi BIM dalam penilaian LEED dimana kriteria penilaian LEED dan *Greenship* memiliki kemiripan sebesar 78,3% (Bahaudin dkk., 2014). Menurut Wu & Issa (2015), BIM dapat membantu penilaian cukup banyak kriteria penilaian di dalam sertifikasi bangunan berkelanjutan.



Gambar V.3 Penilaian Responden terhadap BIM Dapat Membantu Penilaian *Greenship*
(Sumber: Olahan Pribadi)

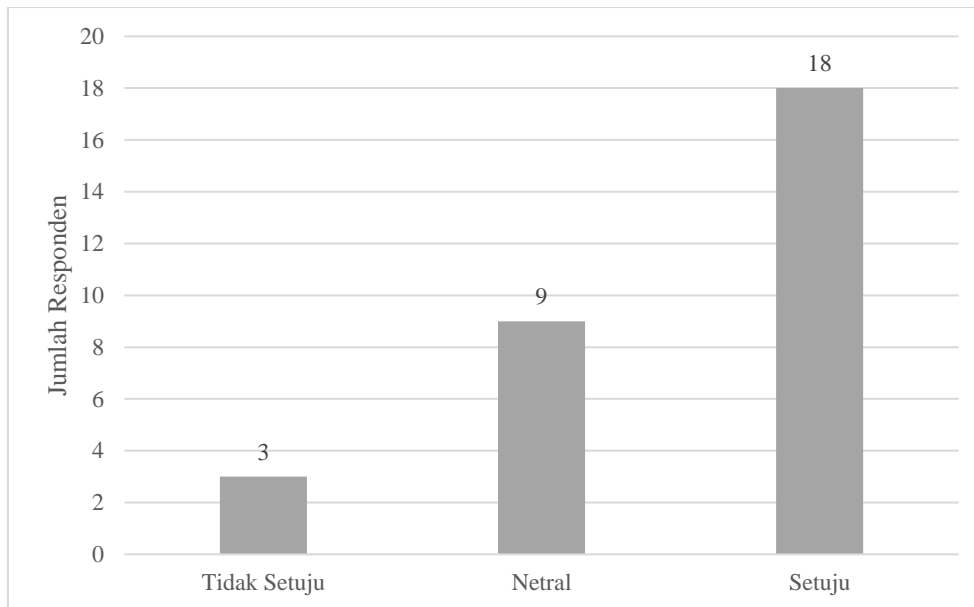
X2.2 mengukur tentang kemampuan BIM dalam mengurangi biaya dalam proses sertifikasi *Greenship*. Variabel ini memiliki nilai rata-rata sebesar 4,37 dengan nilai varians sebesar 2,23. Hal ini mengindikasikan pendapat responden cukup bervariasi. Sebagian responden menyatakan bahwa mereka tidak yakin BIM dapat membantu mengurangi biaya dalam proses sertifikasi *Greenship*. Terdapat sebagian responden yang menganggap biaya proses sertifikasi tidak dapat dikurangi dengan menggunakan BIM dan sebagian responden menganggap biaya proses sertifikasi dapat dikurangi menggunakan BIM. Hal ini ditunjukkan dengan hasil kuesioner dimana 12 responden setuju, 12 responden netral, dan 6 responden tidak setuju bahwa BIM dapat membantu mengurangi biaya dalam proses sertifikasi *Greenship*. Menurut Uddin dkk (2021), BIM dapat mengurangi biaya konstruksi namun tidak dapat mengurangi

biaya proses sertifikasi bangunan berkelanjutan karena biaya sertifikasi biasanya diambil berdasarkan luas bangunan dan jenis bangunan.



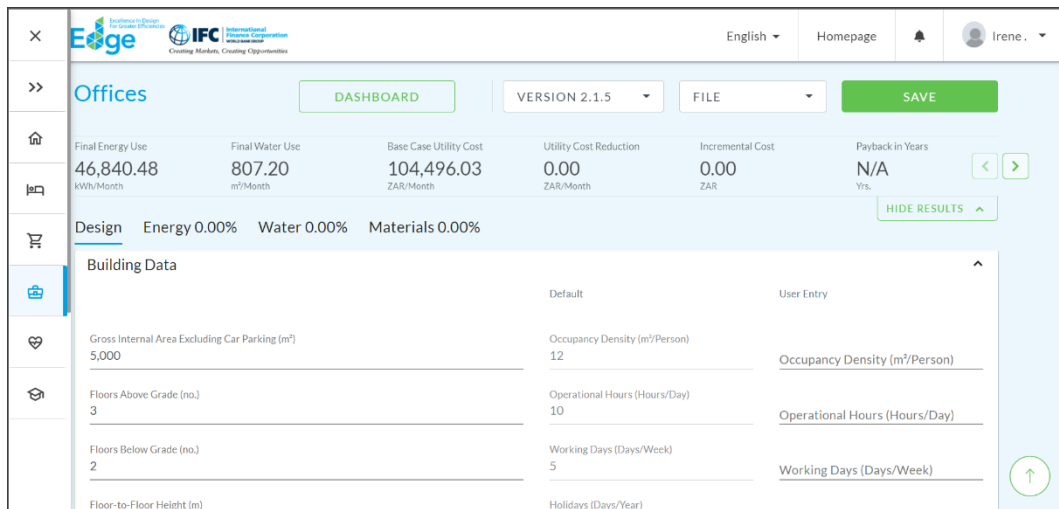
Gambar V.4 Penilaian Responden terhadap BIM Dapat Mengurangi Biaya Dalam Proses Sertifikasi *Greenship*
(Sumber: Olahan Pribadi)

X2.3 mengukur tentang kemampuan BIM untuk memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi *Greenship*. Variabel ini memiliki nilai rata-rata sebesar 5 dengan nilai varians sebesar 2. Hal ini menyatakan bahwa para responden cukup sependapat bahwa BIM dapat memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi *Greenship*. Hal ini disebabkan kemampuan BIM dalam mempermudah pertukaran informasi antar *stakeholder* sehingga dapat mengefisiensikan waktu pengerjaan proyek dan meminimalisir kesalahan data. BIM dapat membantu proses penilaian *Greenship* yang pada akhirnya dapat memperbesar peluang untuk mendapatkan sertifikat *Greenship*. Hal ini dinyatakan dengan hasil kuesioner dimana 18 responden setuju, 9 orang netral, dan 3 orang tidak setuju jika BIM dapat memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi *Greenship*. Secara keseluruhan, BIM cukup dapat membantu proses sertifikasi *Greenship*.



Gambar V.5 Penilaian Responden terhadap Pengintegrasian BIM Dapat Memperbesar Peluang untuk Memperoleh Sertifikasi *GreenShip*
(Sumber: Olahan Pribadi)

X3.1 mengukur kemampuan BIM dalam membantu penilaian EDGE. Variabel ini mendapatkan nilai rata-rata sebesar 4,63 dengan nilai varians sebesar 1,17. Hal ini menyatakan bahwa sebagian besar responden tidak yakin BIM dapat membantu penilaian EDGE. Ketidakyakinan ini dapat disebabkan oleh pemahaman responden tentang EDGE yang hanya pada tahap “cukup paham” sehingga hasil yang didapatkan adalah responden tidak yakin namun lebih bercondong ke agak setuju bahwa BIM dapat membantu penilaian EDGE. Menurut Jalaei & Jrade (2015), BIM dapat membantu kriteria penilaian di dalam EDGE dalam tahap perencanaan saja. Namun, EDGE memiliki kalkulator yang dapat digunakan untuk membantu proses sertifikasi sehingga pada dasarnya tidak memerlukan bantuan BIM. Tampilan dari kalkulator EDGE dapat dilihat pada Gambar V.6 di bawah ini.



Gambar V.6 Tampilan Kalkulator EDGE

(Sumber: <https://app.edgebuildings.com/project/offices>)

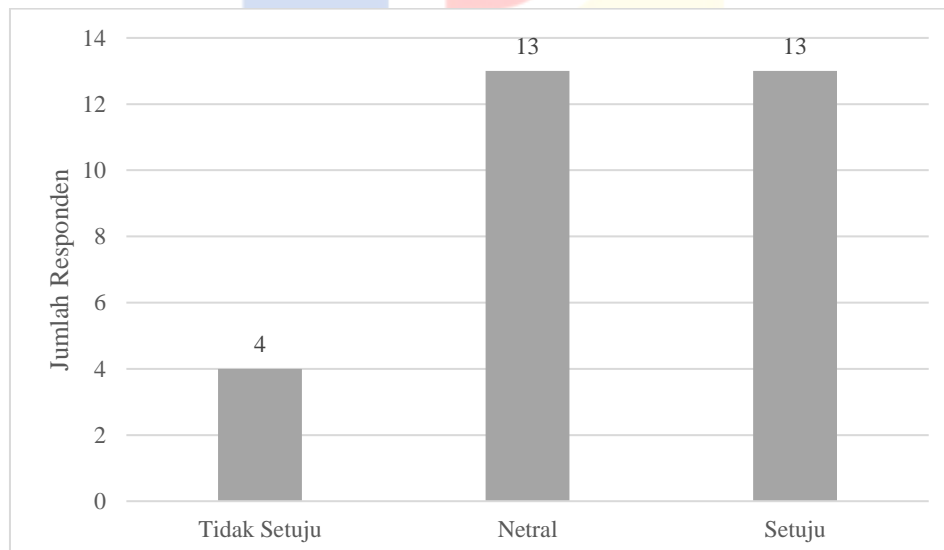
X3.2 mengukur kemampuan BIM dalam mengurangi biaya dalam proses sertifikasi EDGE. Variabel ini mendapatkan nilai rata-rata sebesar 4,1 dengan nilai varians sebesar 2,02. Hal ini menyatakan bahwa sebagian responden tidak yakin jika BIM dapat mengurangi biaya dalam proses sertifikasi EDGE. Namun, nilai varians yang agak besar menyatakan bahwa terdapat responden yang menganggap bahwa BIM tidak dapat mengurangi biaya proses sertifikasi EDGE dan terdapat responden yang agak setuju bahwa BIM dapat mengurangi biaya proses sertifikasi EDGE. Menurut Uddin dkk (2021), biaya proses sertifikasi biasanya diambil berdasarkan luas bangunan sehingga BIM tidak dapat mengurangi biaya proses sertifikasi EDGE.

X3.3 mengukur kemampuan BIM untuk memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi EDGE. Variabel ini memiliki nilai rata-rata 4,5 dengan nilai varians sebesar 1,05. Hal ini menyatakan bahwa sebagian besar responden tidak yakin jika BIM dapat memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi EDGE. Kemungkinan penyebab responden tidak yakin dalam mengerjakan variabel ini adalah kurangnya pemahaman tentang EDGE atau BIM tidak dapat memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi EDGE. Secara keseluruhan, responden tidak yakin jika BIM dapat membantu proses sertifikasi EDGE.

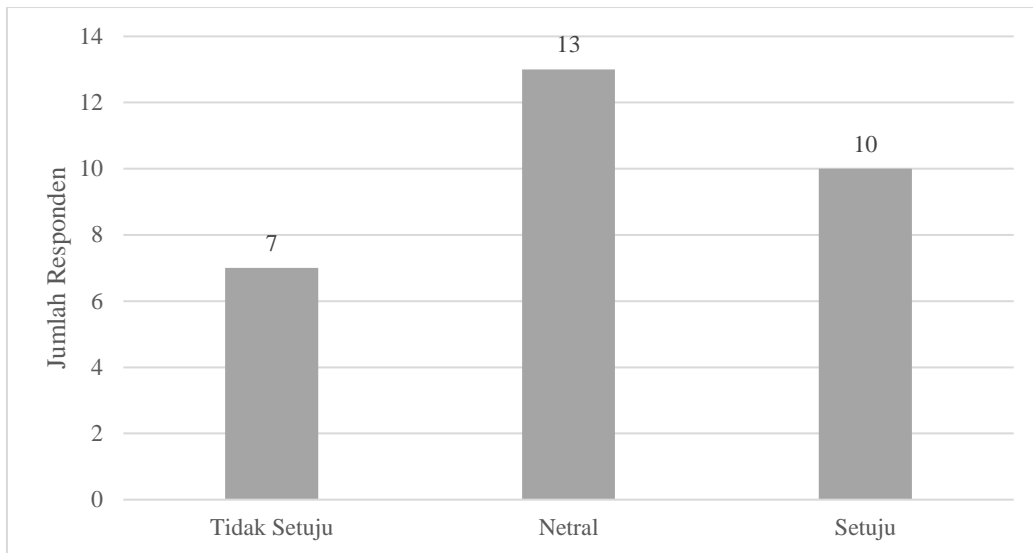
X4.1 mengukur kemampuan BIM dalam membantu penilaian WELL. Variabel ini memiliki nilai rata-rata sebesar 4,53 dengan nilai varians sebesar 1,52. Hal ini menyatakan bahwa responden tidak cukup yakin jika BIM dapat membantu penilaian WELL yang ditunjukkan

dengan hasil kuesioner 13 responden setuju, 13 responden netral, dan 4 responden tidak setuju. Namun menurut Ding dkk (2020), BIM dapat membantu penilaian kriteria dalam WELL selama berhubungan dengan desain bangunan yang menunjang kesehatan penghuni bangunan. Hasil yang berbeda ini diakibatkan secara keseluruhan WELL tidak berfokus pada bangunan sehingga meskipun BIM dianggap dapat membantu, BIM hanya dapat membantu sebagian kecil kriteria penilaian dalam WELL.

X4.2 mengukur kemampuan BIM dalam mengurangi biaya dalam proses sertifikasi WELL. Variabel ini mempunyai nilai rata-rata sebesar 4,03 dengan nilai varians sebesar 2,3. Hal ini menyatakan bahwa terdapat responden yang berpendapat bahwa BIM tidak dapat mengurangi biaya proses sertifikasi WELL dan terdapat responden yang berpendapat bahwa BIM dapat mengurangi biaya proses sertifikasi WELL, namun lebih banyak responden yang tidak yakin tentang variabel ini yang dibuktikan dengan hasil kuesioner yang menunjukkan bahwa 10 responden setuju, 13 responden netral, dan 7 responden tidak setuju. Menurut Uddin dkk (2021), biaya proses sertifikasi biasanya diambil berdasarkan luas bangunan sehingga BIM tidak dapat mengurangi biaya proses sertifikasi WELL.



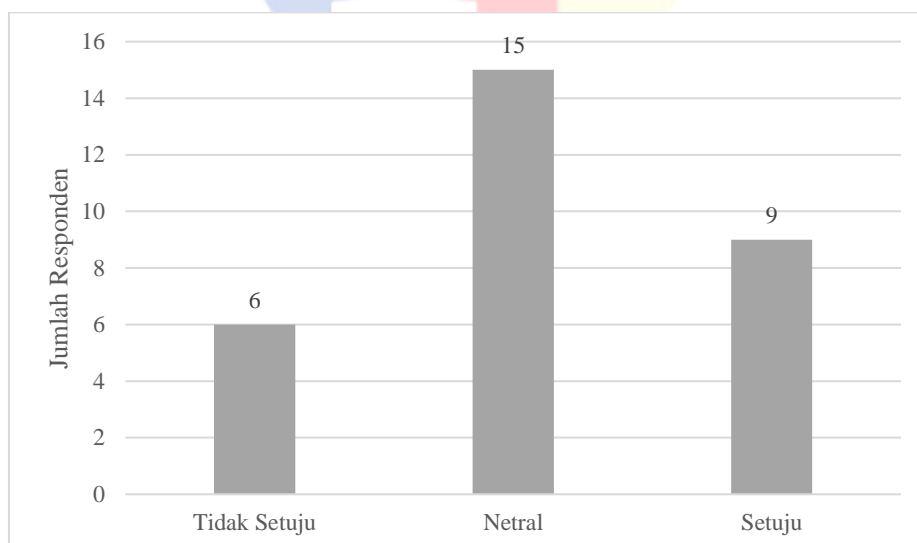
Gambar V.7 Penilaian Responden terhadap BIM Dapat Membantu Penilaian WELL
(Sumber: Olahan Pribadi)



Gambar V.8 Penilaian Responden terhadap BIM Dapat Mengurangi Biaya Dalam Proses Sertifikasi

WELL
(Sumber: Olahan Pribadi)

X4.3 mengukur kemampuan BIM untuk memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi WELL. Variabel ini mempunyai nilai rata-rata sebesar 4,27 dengan nilai varians sebesar 1,73. Hal ini menyatakan bahwa responden tidak yakin jika BIM dapat memperbesar peluang untuk memperoleh sertifikasi WELL yang ditunjukkan dengan 9 responden setuju, 15 responden netral, dan 6 responden tidak setuju.

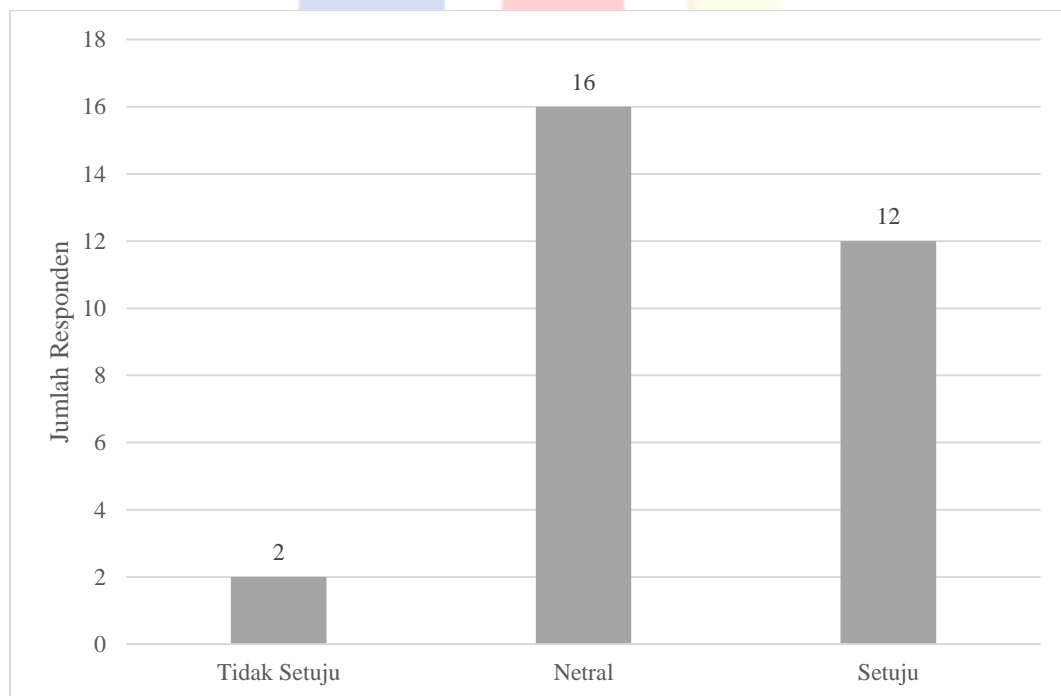


Gambar V.9 Penilaian Responden terhadap Pengintegrasian BIM Dapat Memperbesar Peluang untuk Memperoleh Sertifikasi WELL

(Sumber: Olahan Pribadi)

Responden tidak yakin dalam variabel tentang kemampuan BIM dalam membantu proses sertifikasi WELL. Ketidakyakinan ini dapat disebabkan oleh tingkat pemahaman WELL yang cukup rendah dimana sebagian besar responden tidak begitu paham tentang sertifikasi WELL Gambar IV.7 Selain itu, kriteria penilaian WELL berfokus pada kesehatan penghuninya sehingga BIM yang berfokus pada bangunan tidak dapat membantu proses sertifikasi WELL (McArthur & Powell, 2020).

X5 mengukur kemampuan BIM dalam mengintegrasikan *Greenship*, EDGE, dan WELL dalam satu aplikasi. Variabel ini memiliki nilai rata-rata sebesar 4,57 dengan nilai varians sebesar 1,38. Hal ini menyatakan bahwa sebagian besar responden tidak yakin dengan kemampuan BIM dalam mengintegrasikan *Greenship*, EDGE, dan WELL namun terdapat beberapa responden yang setuju bahwa BIM dapat mengintegrasikan ketiga sertifikasi ini dalam satu aplikasi yang dibuktikan dengan 12 responden setuju, 16 responden netral, dan 2 responden tidak setuju.



Gambar V.10 Penilaian Responden terhadap BIM Dapat Digunakan untuk Mengintegrasikan Penilaian *Greenship*, EDGE, dan WELL Dalam 1 Aplikasi
(Sumber: Olahan Pribadi)

Secara singkat, responden masih menghadapi ketidakyakinan dengan kemampuan BIM dalam membantu proses penilaian *Greenship*, EDGE, dan WELL. Oleh karena itu, proses wawancara

dibutuhkan sehingga dapat mengetahui secara lebih detail tentang kriteria penilaian yang dapat dan tidak dapat dibantu menggunakan BIM.

V.2 Kriteria dalam *Greenship*, EDGE, dan WELL yang Dapat Dibantu dengan Bantuan BIM

1. Desain

Dalam kategori desain, BIM dapat membantu 14 kriteria penilaian yang terdiri dari 8 kriteria penilaian *Greenship*, 3 kriteria WELL, dan 2 kriteria irisan *Greenship* dan WELL. BIM yang dimaksud terdiri dari BIM *authoring tools*, BPA, maupun BIM 2D. BIM *authoring tools* merupakan BIM yang dapat memenuhi BIM mulai dari dimensi ketiga atau pemodelan secara tiga dimensi seperti *Autodesk Revit*, *Civil 3D*, *Tekla*, dsb. Tidak hanya pemodelan secara tiga dimensi, BIM *authoring tools* juga dapat mengidentifikasi berbagai jenis tanaman, ruangan, dan aspek bangunan lain jika terdapat di dalam basis data. Basis data tersebut dapat dimasukkan oleh pemodel BIM atau sudah termasuk ke dalam data bawaan dari masing-masing aplikasi.

BPA atau *Building Performance Analysis* merupakan perkembangan dari BIM dimana BPA menggunakan informasi model dari BIM yang kemudian diolah sehingga dapat menghasilkan analisis performa bangunan yang kemudian digunakan untuk mengoptimalkan kinerja bangunan (Jin dkk., 2019). BPA termasuk ke dalam dimensi ketujuh BIM, yaitu *sustainability* atau keberlanjutan karena BPA menggunakan informasi dari dimensi-dimensi BIM sebelumnya untuk menghasilkan kombinasi bangunan yang ramah lingkungan dengan tepat dan cepat (Ebrahim & Wayal, 2019; Najjar dkk., 2019). BPA biasanya digunakan dalam perencanaan bangunan berkelanjutan karena dapat menganalisis kondisi bangunan, mulai dari suhu ruangan, cahaya, hingga emisi CO₂ dalam bangunan. Analisis yang dihasilkan akan digunakan untuk menentukan strategi dalam mengurangi penggunaan energi, emisi CO₂, dan lain sebagainya sehingga dapat memenuhi tujuan pembangunan yang telah direncanakan (Nguyen dkk., 2014). Dalam kategori desain, kriteria penilaian yang dapat dibantu oleh BPA adalah kriteria penilaian “desain ruangan yang menunjukkan adanya potensi introduksi udara luar” yang merupakan kriteria penilaian dari *Greenship* dan WELL, karena BPA dapat mensimulasikan perpindahan angin dan udara dari dalam dan luar bangunan.

BIM 2D merupakan BIM yang hanya dapat memodelkan bangunan secara digital dalam bentuk dua dimensi seperti *Autocad*. BIM 2D dapat membantu kriteria penilaian yang hanya membutuhkan luas area tanpa mengidentifikasi komponen dalam bangunan. Selain itu, BIM

2D juga dapat membantu kriteria penilaian yang hanya membutuhkan gambar lokasi sebuah komponen sebagai persyaratan pemenuhan kriteria penilaian tersebut seperti kriteria penilaian “adanya tempat parkir sepeda yang aman” dan “adanya pancuran”.

Selain BIM, beberapa kriteria penilaian juga dapat dipenuhi dengan menggunakan GIS atau *Geographic Information System* yang berfokus pada lingkup yang lebih besar dari bangunan, yaitu kawasan. GIS merupakan kerangka kerja untuk mengumpulkan, mengelola, dan menganalisis data lingkungan (Hertelendy dkk., 2020). Dalam praktiknya, GIS digunakan dalam *city information modelling* (CIM) yang merupakan pemodelan dan pengintegrasian model sebuah kota atau daerah. Kriteria penilaian yang dapat dibantu menggunakan GIS adalah menghitung area lanskap dan mengidentifikasi vegetasi lokal area lanskap tersebut.

Kriteria penilaian yang tidak dapat dibantu menggunakan BIM maupun GIS adalah “fasilitas/akses yang aman, nyaman, dan bebas dari perpotongan dengan akses kendaraan bermotor.” N1 menjelaskan bahwa BIM tidak dapat membantu kriteria penilaian tersebut karena fasilitas/akses tersebut tergantung dari lokasi dan lingkungan sekitar bangunan. Namun, keenam narasumber lainnya menjelaskan bahwa BIM dapat membantu kriteria penilaian tersebut. Perbedaan pendapat ini disebabkan oleh lingkup area (batas wilayah) penilaian. Jika fasilitas/akses yang dimaksud terdapat di dalam bangunan, maka kriteria penilaian tersebut dapat dipenuhi dengan menggunakan BIM. Namun, jika fasilitas/akses yang dimaksud terletak di luar lingkungan bangunan, maka kriteria penilaian tersebut tidak dapat dipenuhi oleh BIM karena BIM hanya berfokus pada bangunan. Selain itu, pemilik bangunan tidak dapat mengubah fasilitas umum di luar bangunan karena tidak termasuk area yang dimiliki.

Penggunaan BIM untuk membantu kriteria penilaian pada kategori desain juga dilakukan pada berbagai *rating tools* bangunan berkelanjutan lain seperti GBI Malaysia yang kriteria penilaian di dalamnya mirip dengan *GreenShip*, dimana GBI Malaysia juga mengedepankan desain lanskap, penggunaan transportasi ramah lingkungan seperti sepeda, dan penyediaan akses ke fasilitas umum. Dari hasil penelitian, BIM *authoring tools* dapat memenuhi kriteria penilaian dalam tahap desain (Khoshdelnezamiha dkk., 2019).

2. Fasilitas Umum

Dalam kategori fasilitas umum, seluruh kriteria penilaian hanya berasal dari *GreenShip*. Pemenuhan kriteria penilaian didominasi dengan menggunakan bantuan GIS yang dikarenakan

fasilitas umum terletak di luar batas bangunan sehingga membutuhkan informasi dengan cakupan lebih luas. GIS dapat digunakan dalam kriteria penilaian yang memerlukan pengukuran jarak dari bangunan ke fasilitas umum sekitar. Namun, beberapa narasumber menjelaskan bahwa aplikasi pemetaan umum seperti Google Maps juga dapat membantu pengukuran jarak sehingga penggunaan GIS dianggap tidak terlalu penting. Terlebih penggunaan GIS memerlukan informasi tentang lingkungan sekitar bangunan secara akurat sehingga jika terjadi perubahan dan informasi tersebut tidak diperbaharui, maka hasil yang didapatkan akan tidak seakurat Google Maps. Selain itu, Google Maps juga dianggap lebih akurat karena informasi yang di Google Maps diperbarui oleh pengguna secara langsung sedangkan pemasukan data dalam GIS hanya bisa dilakukan oleh pemilik data dan tidak bisa diakses oleh publik.

Kriteria penilaian lain seperti “daerah pembangunan dengan ketentuan $KLB > 3$ ” dan lain sebagainya tidak dapat dibantu menggunakan BIM memerlukan dokumen tambahan berupa Izin Mendirikan Bangunan (IMB) dari pemerintah setempat yang tidak dapat diverifikasi menggunakan BIM. Kriteria penilaian ini dapat dipenuhi dengan menggunakan GIS namun diperlukan data yang sangat lengkap. GIS tidak hanya dapat memetakan sebuah kawasan namun juga dapat menganalisis nilai lahan dan tipe-tipe lahan (Malczewski, 2004).

Terdapat satu kriteria penilaian yang dianggap dapat dipenuhi oleh BIM, yaitu “menyediakan *shuttle bus* untuk pengguna tetap gedung” yang merupakan kriteria penilaian dalam *GreenShip*, namun peran BIM hanya sampai tahap desain. Kriteria penilaian tersebut memerlukan pengamatan pada tahap operasional sehingga BIM yang hanya dapat mendesain halte bus tidak dapat memenuhi kriteria penilaian tersebut.

3. Material

Kriteria penilaian dalam kategori penilaian material terdiri dari 12 kriteria dari *GreenShip*, 1 kriteria dari WELL, dan 3 kriteria irisan *GreenShip* dan WELL. Seluruh narasumber menjelaskan bahwa BIM *authoring tools* dapat mengidentifikasi material dalam bangunan. N5 menjelaskan bahwa pemodel BIM harus memasukkan data secara terperinci agar hasil identifikasi yang dihasilkan lebih akurat, terlebih untuk mendeteksi kandungan berbahaya dari material yang dapat merusak lingkungan sekitar bangunan atau di dalam bangunan itu sendiri. Meskipun BIM dapat mengidentifikasi material, N7 menjelaskan bahwa beberapa kriteria penilaian seperti “menggunakan bahan material kayu yang bersertifikat legal” dan kriteria

penilaian lain yang secara eksplisit menyatakan ketentuan tertentu memerlukan dokumen tambahan seperti sertifikat material, bukti pemesanan material, brosur material, yang membuktikan bahwa kriteria penilaian tersebut dapat dicapai. Dokumen tambahan ini digunakan sebagai pengecekan tambahan untuk memastikan material yang digunakan memang sesuai dan tidak hanya dimodelkan.

Solla, dkk. (2016) menguji apakah BIM dapat memenuhi kriteria-kriteria dalam *rating tools* Green Star yang kriteria penilaian dalam kategori materialnya mirip dengan *Greenship*, di mana kedua *rating tools* tersebut mengedepankan material daur ulang dan material ramah lingkungan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dari 21 kriteria penilaian, BIM dapat memenuhi 20 kriteria penilaian sehingga mendukung penjelasan para narasumber

4. Air

Kriteria penilaian dalam kategori air terdiri dari 9 kriteria dari *Greenship*, 1 kriteria irisan *Greenship* dan WELL, dan 1 kriteria dari *Greenship*, EDGE, dan WELL. Kriteria penilaian tersebut terbagi menjadi tiga macam, yaitu perhitungan volume air, jenis air, dan instalasi air. Dalam perhitungan volume air, BIM berperan untuk memberikan ukuran berbagai perlengkapan air seperti pipa, jenis dan spesifikasi saniter, dan informasi lainnya yang berhubungan dengan perlengkapan air yang digunakan di dalam bangunan. Namun, BIM belum mampu untuk menghitung volume air secara akurat, terutama menghitung volume limpasan air hujan yang memerlukan informasi tambahan berupa curah hujan. Meskipun penggunaan GIS dapat diaplikasikan untuk menghitung volume limpasan air hujan, perhitungan tersebut juga memerlukan informasi tambahan. Dalam hal perhitungan penggunaan air, hanya N6 yang menjelaskan bahwa volume penggunaan air dapat dihitung menggunakan Civil 3D yang merupakan BIM *authoring tools* namun keenam narasumber lain menjelaskan bahwa perhitungan tidak dapat dilakukan dan meskipun bisa dilakukan, hasil perhitungan akan sangat tidak akurat. Pernyataan ini diperkuat dengan penelitian serupa yang menyatakan bahwa BIM *authoring tools* tidak dapat dijadikan alat untuk menghitung penggunaan air dalam bangunan (Solla dkk., 2016).

Sebagai pengganti BIM, perhitungan volume air dapat menggunakan *Water Calculator* yang disediakan oleh *Greenship* dan EDGE. Di sisi lain, terdapat penelitian yang menjelaskan bahwa perhitungan volume air, baik limpasan air hujan maupun penggunaan air dalam

bangunan dapat dihitung dan disimulasikan dengan menggunakan Green Building Studio yang merupakan salah satu aplikasi BPA (Taha dkk., 2020).

Jenis air yang digunakan dalam bangunan dapat dipisahkan dengan cara memodelkan berbagai jenis pipa dengan warna dan/atau ukuran yang berbeda. Sebagai contoh, air yang berasal dari air bekas pakai yang telah didaur ulang dialirkan menggunakan pipa berwarna abu-abu dan lain sebagainya. Sedangkan untuk pemasangan instalasi air seperti saniter dan tangki air dapat dimodelkan dengan menggunakan BIM *authoring tools*.

5. Energi

Kriteria penilaian dalam kategori energi terdiri dari 1 kriteria dari *GreenShip*, 2 kriteria irisan *GreenShip* dan EDGE, 1 kriteria irisan *GreenShip* dan WELL, dan 1 kriteria irisan *GreenShip*, EDGE, dan WELL. Kriteria penilaian tersebut terbagi menjadi tiga macam, yaitu pemodelan, perhitungan, dan penggunaan cahaya alami. Pemodelan yang dimaksud adalah pemodelan pemasangan kWh meter pada sistem peralatan listrik. Pemodelan dapat menggunakan BIM 2D atau BIM *authoring tools* karena yang diperlukan untuk mendapatkan poin dari kriteria penilaian ini adalah menunjukkan rencana peletakan kWh meter sehingga pemodelan secara dua dimensi sudah cukup. Penggunaan BIM *authoring tools* diterapkan ketika ingin menghitung jumlah kWh meter yang terpasang dan untuk mencocokkan jumlah kWh meter dengan jumlah sistem peralatan listrik dengan lebih mudah dan cepat.

Perhitungan OTTV dapat dilakukan menggunakan aplikasi BPA seperti *Energy+*, *IES VE*, *DIALux*, dan lain sebagainya. Aplikasi-aplikasi tersebut menyimulasikan panas dari luar bangunan, panas yang diserap oleh material yang digunakan, hingga menyimulasikan penggunaan energi listrik di dalam bangunan. OTTV (*overall thermal transfer value*) merupakan indeks kinerja energi selubung bangunan yang berpengaruh terhadap penggunaan energi dalam bangunan seperti penggunaan lampu, pendingin ruangan, dan ventilasi (Yik & Wan, 2005). Pernyataan ini didukung oleh penelitian yang menggunakan aplikasi BPA untuk menghitung OTTV yang kemudian dapat berkontribusi dalam pemenuhan kriteria penilaian bangunan hijau seperti Green Mark (Liu dkk., 2020).

BPA juga dapat dihubungkan dengan BIM *authoring tools* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat terkait spesifikasi material bangunan. Lim dkk (2019) menjelaskan bahwa BIM *authoring tools* yang di mana dalam hal ini adalah *Autodesk Revit* mempunyai perangkat lunak

bawaan yang memungkinkan perhitungan OTTV di dalam aplikasi tersebut. Namun, perangkat lunak bawaan yang dimaksud merupakan aplikasi BPA sehingga jika aplikasi BPA tersebut tidak digunakan, maka perhitungan OTTV tidak dapat dilakukan. Hal ini mengindikasikan bahwa BIM *authoring tools* tidak dapat melakukan analisis secara independen. Dalam hal perhitungan penggunaan energi listrik dalam bangunan, *GreenShip* dan *EDGE* menyediakan kalkulator yang dapat digunakan dengan cara memasukkan data-data yang tertera di dalam kalkulator tersebut.

Kriteria penilaian “penggunaan cahaya alami secara optimal” dapat dibantu dengan menggunakan aplikasi BPA, namun N7 menjelaskan bahwa simulasi dan perhitungan yang dihasilkan oleh BPA tidak akurat sehingga pada praktiknya, diperlukan pengukuran pencahayaan alami secara langsung di lokasi bangunan dengan menggunakan alat ukur Lux meter pada pagi, siang, dan sore hari. Di sisi lain, Vilarino dkk (2014) menjelaskan bahwa tingkat akurasi analisis simulasi pencahayaan alami dapat ditingkatkan jika format pemodelan menggunakan skema pemrograman *green building eXtensible Markup Language (gbXML)*. Skema pemrograman gbXML merupakan salah satu bahasa pemodelan bangunan yang sering digunakan untuk pertukaran data sehingga memungkinkan interoperabilitas antara desain bangunan yang berbeda dan BPA (Adamus, 2013). Analisis cahaya alami menggunakan BPA juga dapat membantu optimalisasi penggunaan cahaya alami hingga 38.8% yang kemudian akan menghemat penggunaan perangkat listrik dalam bangunan hingga 20.2% dari tahap desain (Fang & Cho, 2019).

Perhitungan emisi CO₂ dapat dilakukan dengan bantuan aplikasi BPA maupun BIM *authoring tools*. Namun, N2 menjelaskan bahwa hasil yang didapatkan dari BPA dan BIM tidak akurat sehingga perlu pengukuran langsung selama jam operasional bangunan. Garrigos dkk (2019) menjelaskan bahwa perhitungan emisi CO₂ menggunakan BPA akan menghasilkan hasil perhitungan yang berbeda, tergantung dari aplikasi BPA yang digunakan. Hasil perhitungan yang paling akurat dihasilkan oleh aplikasi BPA dengan pangkalan data (*database*) paling lengkap. Namun, kendala yang dialami adalah data yang diperlukan berubah setiap saat (dinamis) dan tidak menentu sehingga pada akhirnya tetap harus melakukan perhitungan secara manual untuk pengecekan ganda. Data dinamis yang dimaksud dalam penelitian ini adalah ventilasi alami, selubung bangunan yang tidak terlalu ketat, dan inersia termal dalam proses perhitungan tidak cukup dipertimbangkan oleh aplikasi BPA. Inersia termal merupakan tingkat kelambatan benda untuk mencapai suhu lingkungannya yang bergantung pada daya serap,

panas spesifik, konduktivitas termal, dimensi, dan faktor-faktor lain benda (Soret dkk., 2021). Selain itu perhitungan CO₂ yang diperlukan tidak hanya pada saat operasional, namun juga pada tahap pengadaan material dan tahap konstruksi. BPA dianggap belum mampu menghitung emisi CO₂ dari seluruh tahap konstruksi sehingga tidak dapat membantu pemenuhan kriteria penilaian ini (Ebrahim & Wayal, 2019).

6. Teknologi

Kriteria penilaian dalam kategori teknologi terdiri dari 3 kriteria *GreenShip* dan 1 kriteria irisan *GreenShip* dan EDGE. Seluruh kriteria penilaian dalam kategori teknologi dapat dimodelkan dengan menggunakan BIM *authoring tools* dan disimulasikan menggunakan BPA. Namun, simulasi yang dapat dilakukan hanya terbatas untuk simulasi penggunaan energi baru terbarukan. Penerapan teknologi lainnya memerlukan pengamatan langsung pada saat operasional untuk membuktikan apakah teknologi-teknologi yang digunakan memang dapat mengurangi beban bangunan, baik dari sisi air maupun energi.

Dalam *rating tools* lain seperti *Green Mark*, LEED, dan BEAM, kategori teknologi dianggap tidak dapat dibantu dengan menggunakan BIM dan/atau BPA karena penerapan teknologi tidak hanya memerlukan perencanaan dan pemodelan, namun juga pengamatan secara berkala pada saat operasional (Solla dkk., 2016). Pengamatan yang dilakukan tidak hanya untuk memastikan bahwa pengelola bangunan benar-benar menerapkan teknologi baru terbarukan, namun juga untuk mengukur efektifitas dari teknologi yang digunakan dalam bangunan tersebut.

7. Kenyamanan

Kriteria penilaian dalam kategori kenyamanan terdiri dari 3 kriteria irisan *GreenShip* dan WELL. Kriteria penilaian tersebut mendapatkan jawaban yang cukup beragam dari setiap narasumber. Kriteria penilaian “kenyamanan termal” dianggap dapat dibantu dengan menggunakan BIM *authoring tools* oleh empat narasumber dengan satu narasumber menjelaskan bahwa hasil yang didapatkan akan mempunyai akurasi yang sangat rendah. N1 menjelaskan bahwa kenyamanan termal dapat disimulasikan menggunakan gabungan dari BIM *authoring tools* dan BPA. Dua narasumber lainnya menjelaskan bahwa BIM tidak dapat mengukur atau menyimulasikan kenyamanan termal dan membutuhkan pengukuran secara langsung pada tahap operasional karena terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi temperatur bangunan, seperti material, cuaca, jumlah penghuni, dan lain sebagainya. Evangelisti dkk (2015) membandingkan perhitungan suhu dalam bangunan secara langsung dan melalui simulasi menggunakan BPA. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa

terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara pengukuran langsung dan simulasi yang mungkin diakibatkan oleh ketidakakuratan nilai konduktivitas termal material. Namun, Evangelisti dkk (2015) juga menjelaskan bahwa perbedaan ini tidak akan berpengaruh terhadap rencana desain HVAC karena biasanya hasil yang didapatkan dari proses simulasi akan diperbesar untuk menghindari masalah yang mungkin dihadapi.

Kriteria penilaian “kenyamanan visual” dianggap dapat dibantu menggunakan aplikasi BPA oleh seluruh narasumber. Namun, dua narasumber menjelaskan bahwa hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan BPA tidak akurat sehingga membutuhkan pengamatan langsung. Hal ini dikarenakan BPA tidak dapat melihat lingkungan sekitar bangunan dan tidak dapat mendeteksi bangunan-bangunan tinggi di sekitar lokasi bangunan yang dapat menghalangi sinar matahari ke dalam bangunan dan lain sebagainya. Echenagucia dkk (2015) menjelaskan bahwa BPA dapat dihubungkan dengan GIS sehingga lingkungan sekitar bangunan dapat dipertimbangkan. Hasil simulasi menggunakan BPA juga dapat memberikan rekomendasi jenis dan jumlah lampu yang sebaiknya digunakan pada setiap ruangan. BPA tidak hanya menganalisis dengan menggunakan kondisi lingkungan sekitar, namun juga mempertimbangkan iklim, cuaca, dan jenis lokasi bangunan tersebut.

Kriteria penilaian “tingkat kebisingan” dianggap dapat dibantu menggunakan aplikasi BPA dan BIM *authoring tools* namun dengan akurasi yang rendah. Terdapat satu narasumber yang tidak pernah mengetahui aplikasi BIM maupun BPA yang mampu menyimulasikan tingkat kebisingan dalam bangunan. Tiga narasumber lainnya menjelaskan bahwa BIM dan BPA tidak dapat menyimulasikan tingkat kebisingan bangunan karena kurangnya informasi daya serap suara dari material yang digunakan. Terlebih lagi, terdapat faktor eksternal seperti suara mesin dalam setiap ruangan, yang tidak dapat disimulasikan oleh BIM dan BPA padahal sangat berpengaruh dengan tingkat kebisingan. Faktor eksternal ini dapat menjadikan ruangan tersebut menjadi lebih bising dari perkiraan pada simulasi tingkat kebisingan. Tsirigoti dkk (2020) melakukan analisis tingkat kebisingan menggunakan aplikasi BPA dengan berbagai macam material, baik struktur maupun arsitektur. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tingkat kebisingan yang cukup signifikan antara hasil analisis dan pengukuran langsung. Hal ini diakibatkan oleh kesalahan dari tahap konstruksi yang menyebabkan insulasi yang direncanakan tidak dapat menyerap bising sesuai rencana dan kondisi sekitar bangunan seperti kebisingan lalu lintas. Oleh karena itu, pengukuran secara langsung dianggap masih sangat diperlukan.

8. Pengolahan Limbah

Kriteria penilaian dalam kategori pengolahan limbah hanya berasal dari *GreenShip* dan kriteria penilaian yang dapat dibantu menggunakan BIM adalah kriteria “adanya instalasi atau fasilitas untuk memilah dan mengumpulkan sampah sejenis sampah rumah tangga” di mana instalasi atau fasilitas tersebut dapat dimodelkan menggunakan BIM *authoring tools*. N7 menjelaskan bahwa pada praktiknya, pemodelan saja tidak cukup sehingga memerlukan dokumen tambahan yang menyatakan bahwa instalasi atau fasilitas yang disediakan dapat menampung limbah yang dihasilkan oleh penghuni bangunan. Dokumen dapat berupa perhitungan volume tempat pembuangan, bukti kerja sama dengan pihak ketiga untuk memilah limbah, dan bukti perjanjian pengambilan limbah harian.

Kriteria penilaian lainnya tidak dapat dibantu dengan menggunakan BIM maupun BPA dikarenakan kriteria-kriteria tersebut memerlukan dokumen untuk memverifikasi praktik pada saat operasional. Dokumen yang diperlukan antara lain dokumen kerja sama dengan pihak ketiga (contoh: penyedia jasa pemilahan dan pengolahan limbah) untuk mengambil dan mengolah limbah, dokumen yang menyatakan bahwa limbah diolah sesuai dengan jenisnya (organik, anorganik, B3, dll).

Cheng dkk (2015) menjelaskan bahwa peran BIM dalam manajemen limbah adalah untuk mengurangi potensi limbah pada saat konstruksi. Manajemen limbah ini diharapkan tidak hanya dapat mengurangi limbah konstruksi, namun juga mengurangi biaya konstruksi. Sedangkan untuk manajemen limbah pada tahap operasional bangunan, BIM belum dapat digunakan.

9. Operasional

Kriteria penilaian dalam kategori operasional terdiri dari 7 kriteria *GreenShip* dan 10 kriteria WELL. Seluruh kriteria tersebut tidak dapat dibantu dengan menggunakan BIM atau BPA karena membutuhkan pengamatan langsung dan dokumen pendukung. Selain itu, kriteria penilaian dalam kategori operasional lebih berfokus pada komponen di luar bangunan sehingga sangat sulit bahkan belum bisa disimulasikan menggunakan BIM. N5 menjelaskan, meskipun kriteria-kriteria penilaian tersebut dapat disimulasikan dengan BIM, simulasi tersebut akan memerlukan waktu dan tenaga yang sangat banyak dengan tingkat akurasi yang sangat rendah sehingga tidak dianjurkan. Meskipun N7 menjelaskan bahwa “manajemen pestisida” dan

“pengontrolan kontaminan organik dan inorganik” dapat dibantu dengan menggunakan aplikasi BPA, bantuan yang diberikan merupakan berupa pembuatan jadwal pemberian pestisida atau kontaminan. Namun, pemberian pestisida dan kontaminan tidak hanya bergantung pada periode tertentu, namun juga kondisi cuaca dan kondisi tanaman sehingga tidak dapat dikontrol.

Saat ini terdapat konsep BIM 6D atau dimensi keenam BIM dimana berfokus pada manajemen bangunan pada tahap operasional. Wetzel & Thabet (2015) menjelaskan bahwa BIM tidak hanya dapat membantu pengelola bangunan dalam hal merawat fasilitas, BIM juga dapat mencegah kecelakaan pada saat perawatan fasilitas. Dalam mendapatkan keuntungan tersebut, pengelola bangunan memerlukan kumpulan lengkap informasi yang terstruktur dengan baik mengenai aset bangunan (Nical & Wodyński, 2016). Pemanfaatan BIM pada tahap operasional ini memiliki banyak keuntungan seperti (Arayici dkk., 2012):

- Pengingat jadwal membersihkan bangunan.
- Penyimpanan data dari tahap konstruksi sehingga memudahkan re-alokasi ruangan.
- Memastikan pengolahan limbah antar departemen berjalan dengan tepat waktu dan efektif.
- Mendeteksi kandungan berbahaya dalam ruangan dan bangunan.
- Mengidentifikasi pelanggaran keamanan dengan visualisasi instan dari ruang 3D.
- Mendeteksi kerusakan pada struktur bangunan dan menginformasikannya ke departemen yang bersangkutan.

V.3 Temuan

Secara keseluruhan, BIM dapat membantu hampir seluruh kriteria penilaian yang berhubungan langsung dengan bangunan. Di sisi lain, kriteria penilaian dalam WELL berfokus tidak hanya kepada bangunan, namun juga gaya hidup penghuni bangunan sehingga kriteria penilaian yang dapat dibantu menggunakan BIM cukup sedikit. Hal ini juga berlaku dalam kriteria penilaian *GreenShip* yang berfokus pada fasilitas bangunan sehingga membutuhkan pengamatan secara langsung pada tahap operasional. Meskipun terdapat narasumber yang menyatakan bahwa BIM mampu membantu pengawasan pada tahap operasional, kemampuan BIM masih sangat terbatas dan pemenuhan kriteria penilaian tersebut mewajibkan pengamatan secara langsung.

Keterbatasan BIM tidak hanya dalam tahap operasional, namun juga dalam hal dokumentasi. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Romano & Riediger (2020), kendala yang ditemui juga dalam bentuk perlunya dokumentasi untuk memenuhi kriteria-kriteria penilaian tertentu.

Kemampuan BIM dalam membantu pemenuhan integrasi kriteria penilaian dalam *Greenship*, EDGE, dan WELL secara singkat dapat dilihat pada Tabel V.1 di bawah ini.

Tabel V.1 Rangkuman Kemampuan BIM dalam Memenuhi Integrasi *Greenship*, EDGE, dan WELL

Kategori Penilaian	<i>Greenship</i> (46 kriteria)	EDGE (6 kriteria)	WELL (95 kriteria)
Desain	10 dari 46	Tidak berlaku	5 dari 95
Fasilitas Umum	Tidak dapat dipenuhi	Tidak berlaku	Tidak berlaku
Material	15 dari 46	Tidak berlaku	4 dari 95
Air	3 dari 46	Tidak dapat dipenuhi	1 dari 95
Energi	4 dari 46	3 dari 6	1 dari 95
Teknologi	4 dari 46	1 dari 6	Tidak berlaku
Kenyamanan	2 dari 26	Tidak berlaku	2 dari 95
Pengolahan Limbah	1 dari 46	Tidak berlaku	Tidak berlaku
Operasional	Tidak dapat dipenuhi	Tidak berlaku	Tidak dapat dipenuhi
Total	39 dari 46	4 dari 6	13 dari 95

(Sumber: Olahan Pribadi)