REKAYASA ULANG SISTEM PENCAHAYAAN DAN PENGKONDISIAN UDARA PADA GEDUNG MAGISTER SAINS TERAPAN POLITEKNIK NEGERI BANDUNG

Achmad Renaldi, Dadan Purnama, Mei Sutrisno, Muchtar

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds.Ciwaruga Bandung 40012. E-mail: meisutrisno@polban.ac.id

ABSTRAK

Optimalisasi penggunaan energi pada suatu gedung bertujuan untuk mengurangi pemakaian energi listrik berlebih, sehingga dapat menekan biaya operasional pada gedung tersebut. Salah satu ide optimalisasi yang dapat direncanakan adalah melakukan rekayasa ulang pada sistem pencahayaan dan pengkondisian udara.Hal ini coba diterapkan pada gedung magister sains terapan Politeknik Negeri Bandung. Evaluasi sistem pencahayaan pada bangunan eksisting dilakukan dengan mengukur nilai lux (tingkat cahaya) pada setiap ruangan. Sedangkan evaluasi sistem pengkondisian udara pada bangunan eksisting yang dilakukan adalah mengukur kecepatan angin, suhu udara luar dan dalam ruangan pada jam operasional gedung, serta kelembaban udara. Pengolahan data hasil evaluasi selanjutnya dijadikan acuan untuk menentukan jenis usulan desain baru yang akan direkomendasikan. Untuk sistem pencahayaan, usulan desain yang direkomendasikan adalah penambahan cerobong cahaya, pemasangan glassblock, penggantian warna cat dinding, serta penggantian jenis dan spesifikasi lampu. Sedangkan untuk pengkondisian udara, usulan yang direkomendasikan adalah desain cross ventilation menggunakan jendela fleksibel, penggunaan exhaust fan, serta pergantian jenis dan spesifikasi komponen pengkondisian udara yang lebih hemat energi. Dari rekayasa ulang yang telah direncanakan, selanjutnya dilakukan perhitungan biaya operasional untuk jangka waktu 20 tahun kedepan yang mencakup biaya penggunaan listrik, biaya perawatan, biaya penggantian asset, serta biaya investasi (RAB) dengan dipengaruhi oleh kenaikan tarif listrik rata-rata dan infasi pada setiap tahunnya. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai perbandingan penghematan biaya operasional hasil usulan desain dengan biaya operasional kondisi eksisting yaitu sebesar 286% dengan nilai NPV hasil desain sebesar Rp. 5.609.940.958

Kata kunci: Evaluasi, Sistem Pencahayaan, Sistem Pengkondisian Udara, Rekayasa Ulang, Biaya Operasional.

I. PENDAHULUAN

Pada dasarnya, bangunan berperan penting dalam menunjang berbagai macam aktifitas dan juga sebagai pelindung dari segala faktor penyebab ketidaknyamanan seperti hujan, terik matahari,dan udara panas. Untuk merubah kondisi ketidaknyamanan tersebut seringkali membutuhkan alat penunjang kenyamanan dengan kualitas dan jumlah tertentu yang secara tidak langsung menyebabkan bangunan menggunakan energi listrik secara tidak efisien, contohnya pada penggunaan *Air Conditioning* (AC) dan sistem penerangan berdaya besar. Kedua hal tersebut dapat memberikan dampak negatif yang cukup signifikan terhadap efisiensi pemakaian energi listrik dan kemudian mempengaruhi penggunaan biaya operasional bangunan. Hal ini perlu diperhatikan terlebih untuk gedung yang akan difungsikan sebagai sarana pendidikan, dimana segala fasilitas penunjang pendidikan harus berada dalam keadaan yang baik, sehingga pada pengaplikasianya tidak mungkin menggunakan energi listrik yang kecil.

Tujuan

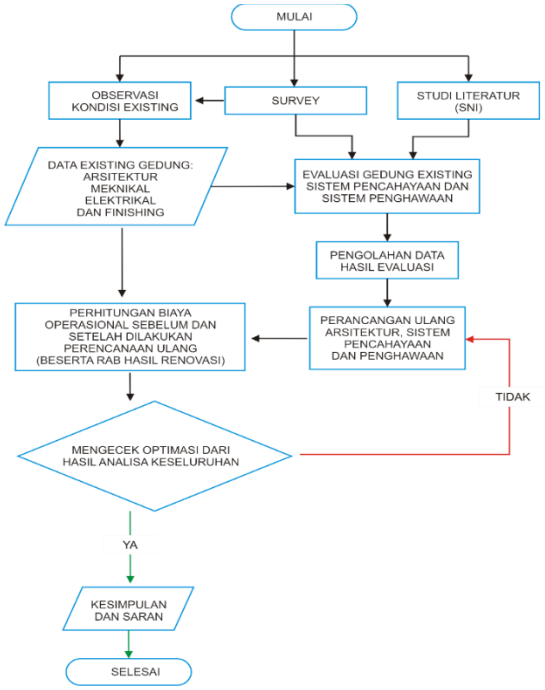
Tujuan penulisan penelitian ini adalah:

1. Melakukan analisis dan evaluasi sistem pencahayaan dan pengkondisian udara alami berdasarkan kondisi eksisting pada setiap ruangan Gedung Magister Sains Terapan.
2. Melakukan rekayasa ulang sebagai solusi optimalisasi sistem pencahayaan dan pengkondisian udara alami berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan.
3. Menghitung biaya operasional gedung hasil perencanaan ulang selama 20 tahun kedepan.

Gambar 1. Gedung MST Polban

II. METODOLOGI

Metodologi penelitian yang dilakukan meliputi observasi, survei, studi literatur, dan analisis. Untuk lebih jelasnya, metodologi penelitian tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Diagram alir metodologi penelitian

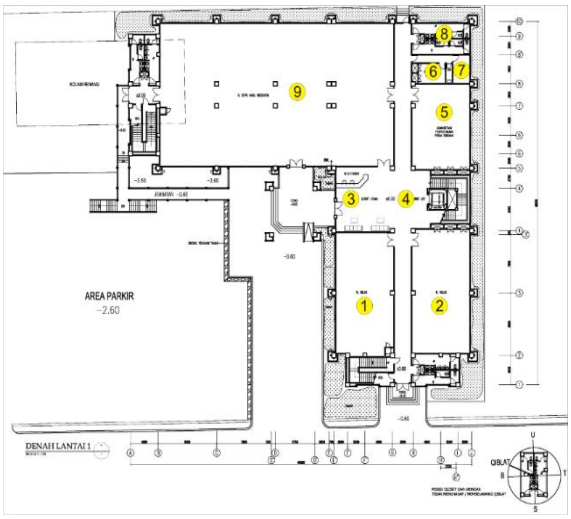
Peralatan yang digunakan dalam observasi adalah:

- *Digital Lux Meter* (Alat pengukur *lux* ruangan).
- *Temperature & Humidity Alarm* (Alat pengukur suhu dan kelembaban ruangan).
- *Anemometer* (Alat pengukur kecepatan udara).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting

Gedung MST POLBAN memiliki jumlah 5 lantai tipikal dengan masing masing lantai memiliki ketinggian 4,20 meter kecuali lantai 1 yang mempunyai tinggi lantai mencapai 5,2 meter. Gedung ini terdiri dari ruangan expo, perpustakaan, ruang kelas, dan laboratorium. Gambar 3. merupakan salah satu denah yang terdapat pada Gedung MST.



Gambar 3. Denah Lantai Gedung MST

Evaluasi Sistem Pencahayaan Alami

Evaluasi sistem pencahayaan alami yang dilakukan adalah melakukan observasi lapangan menggunakan *digital lux meter* (Gambar 4) yang mengacu pada aturan SNI 7062-2004 tentang *"Pengukuran Intensitas Pencahayaan Lux Meter"*. Pengujian dilakukan pada jam operasional (pagi, siang, sore) dan mengacu pada aturan SNI 6197-2011 mengenai tingkat pencahayaan yang direkomendasikan pada suatu ruangan.

Gambar 4. *Digital lux meter*

Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, didapatkan rekap sebagai berikut:

- Pada beberapa ruangan, terdapat intensitas pencahayaan yang belum memenuhi standar.
- Intensitas pencahayaan tertinggi umumnya berada pada jam operasional siang hari.
- Intensitas pencahayaan terbesar berada pada TUU1 (2,5m dari bukaan terbesar).

Evaluasi Sistem Pencahayaan Buatan

Evaluasi terhadap sistem pencahayaan perlu dilakukan untuk mengetahui apakah perencanaan pencahayaan buatan (lampu) yang digunakan pada

gedung tersebut telah memenuhi persyaratan. Informasi yang diperlukan dalam melakukan evaluasi adalah data luas ruangan dan jenis lampu yang digunakan (berdasarkan RKS).

Tabel 1. Standar Tingkat Lux setiap ruangan (SNI 6197-2011)

Fungsi ruangan/ area	Tingkat pencahayaan (lux)
Ruang resepsionis	300
Ruang kerja	350
Ruang rapat	300
Gudang	150
Ruang komputer	350
Ruang staff	350
Ruang teleconference	300
Ruang kelas	300
Perpustakaan	500
Laboratorium	500
Lobby	500
Toilet	250

Perhitungan yang digunakan pada evaluasi sistem pencahayaan buatan adalah sebagai berikut:

- Perhitungan tingkat pencahayaan rata-rata

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \; x \, k_p \, x \, k_d}{A} \; (lux)$$

Keterangan:

F total = Nilai flux (lumen) dari tipe lampu
Kp = Koefisien penggunaan(0,5-0,95)
Kd = Koefisien penyusutan (0,8)

- Perhitungan daya listrik ruangan per 1 meter persegi

$$Daya\ Listrik = \frac{\sum Watt\ (Termasuk\ \ Balast)}{luas\ (m^2)}$$

Keterangan:
Standar maksimal untuk daya listrik suatu ruangan adalah 15 w/m^2

Berdasarkan perhitungan hasil evaluasi sistem pencahayaan buatan pada Gedung MST, didapatkan rekap sebagai berikut:

- Terdapat spesifikasi lampu yang tidak memenuhi standar pada ruangan tertentu. Salah satunya pada ruangan expo lantai 1.
- Terdapat penggunaan lampu yang melebihi standar, dengan selisih rata-rata lux dan standar mencapai 50%. Hal ini diindikasikan dapat menyebabkan pemborosan energi.
- Keseluruhan ruangan telah mencukupi standar daya listrik yang disarankan.

Evaluasi Sistem Pengkondisian Udara Alami

Evaluasi pengkondisian udara pada gedung MST dilakukan dengan melakukan observasi langsung di lapangan menggunakan alat *Temperature & Humidity Alarm* dan *Anemometer*. Acuan yang digunakan dalam melakukan observasi adalah SNI 03-6572-2001 dan ASHRAE.

- Sejuk nyaman, antara temperatur efektif 20,5ºC - 22,8ºC.
- Nyaman optimal, antara temperatur efektif 22,8ºC - 25,8ºC.
- Hangat nyaman, antara temperatur efektif 25,8ºC - 27,1ºC.

Gambar 5. Pengukuran suhu dan kecepatan angin ruangan

Berdasarkan hasil observasi dan evaluasi yang dilakukan, didapatkan informasi sebagai berikut:

- Secara keseluruhan, temperatur dalam gedung telah memenuhi syarat pada musim hujan (22,8-27,1°C) namun belum memenuhi syarat pada musim panas (22,8-25,8°C).
- Laju udara pada lantai 1 adalah yang terendah dibandingkan dengan lantai yang lainnya. Diketahui pula bahwa jendela pada lantai satu bersifat permanen(tidak bisa dibuka) sehingga dapat menghambat aliran udara alami.

Evaluasi Sistem Pengkondisian Udara Mekanis

Untuk mengevaluasi pengkondisian udara mekanis dibutuhkan perhitungan mengenai beban kalor internal (beban orang, lampu, dan peralatan) dan eksternal (beban konduksi atap, jendela, dinding, radiasi matahari, dan CLTD) yang kemudian akan dibandingkan dengan kapasitas alat pendingin yang akan digunakan.
Contoh hasil evaluasi beban pendingin mekanis dapat dilihat pada Tabel 2 perhitungan berikut:

Tabel 2. Perhitungan Beban Total

Lantai	Lantai 1			
Ruangan	Administrasi Perpustakaan			
Jam operasional	Total	Kapasitas	Keterangan	
7	3550,00	12000	Lebih	8450
8	5640,49	12000	Lebih	6359,51
9	6050,39	12000	Lebih	5949,61
10	6296,33	12000	Lebih	5703,67
11	6501,28	12000	Lebih	5498,72
12	6665,24	12000	Lebih	5334,76
13	6829,2	12000	Lebih	5170,8
14	6911,18	12000	Lebih	5088,82
15	6993,16	12000	Lebih	5006,84
16	5107,62	12000	Lebih	6892,38
17				
18				
19				
20				
21				

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa beban kapasitas AC yang direncanakan ternyata masih terlalu besar dari hasil perhitungan total. Hal ini dapat menimbulkan pemborosan energi sehingga diusulkan untuk menggunakan spesifikasi AC yang lebih rendah.

Perencanaan Ulang Sistem Pencahayaan dan Pengkondisian Udara

Sesuai dengan hasil observasi dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa masih terdapat beberapa kekurangan pada sistem pencahayaan dan pengkondisian udarapada gedung kondisi eksisting. Untuk itu diperlukan perencanaan ulang pada kedua sistem tersebut. Perencanaan ulang dilakukan dengan tujuan mengupayakan perbaikan berdasarkan hasil data evaluasi pengujian dengan tujuan untuk mengefektifkan kerja suatu sistem tersebut tanpa harus mengurangi kualitasnya. Berikut merupakan alternatif perencanaan ulang yang diusulkan:

Sistem Pencahayaan

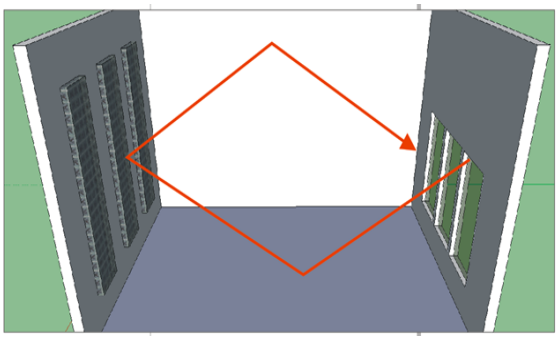
- Pemasangan *glassblock*
- Penggantian spesifikasi dan jenis lampu
- Penggunaan cerobong cahaya
- Penggantian warna cat dinding interior

Sistem Pengkondisian Udara

- Desain ventilasi Alami (*cross ventilation*)
- Penggunaan *Exhaust Fan*
- Penggantian jenis dan spesifikasi AC

Pemasangan *Glassblock*

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas pencahayaan alami, diketahui bahwa pencahayaan yang paling dekat dengan bukaan terbesar (TUU1) relatif mempunyai intensitas pencahayaan yang baik(telah sesuai standar), sedangkan untuk TUU2 dan TUU3 yang mempunyai jarak 5 meter dan 7 meter dari bukaan memiliki intensitas pencahayaan yang kurang dari standar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantulan/ refleksi cahaya yang masuk dari arah bukaan. Bidang pemantul yang dapat digunakan adalah berupa material *glassblock*.



Gambar 6. Skema pemantulan cahaya menggunakan *glassblock*

Penggantian Jenis dan Spesifikasi Lampu

Untuk memenuhi kebutuhan pencahayaan pada gedung MST, dilakukan pergantian jenis dan spesifikasi lampu yang lebih hemat energi untuk menghindari pemborosan energi listrik.

Adapun beberapa lampu yang diusulkan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Jenis lampu yang diusulkan

Eksisting	Redisain
TL 2x36 W	LED 2x18 W
Downlight PLC 13 W	Downlight 25 W
TL 36 W	LEDT8 22 W
TL 18 W	Tube 9 W
PL 5x26 W	Hiled Light 30 W

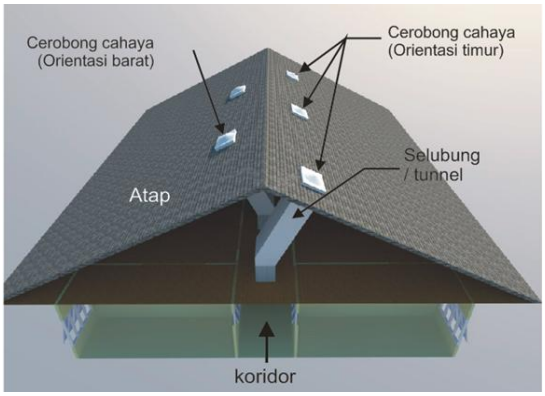
1. Untuk ruangan kelas, Administrasi dan Ruang Staff
   Hiled LED 2X18W, nilai luminensi 2800
2. Untuk Ruang Perpustakaan dan ruang Expo hasil penelitian
   Hiled LED 2X18W, nilai luminensi 2800
3. Untuk *Lobby*
   Hiled Downlight 25W, nilai luminensi 1800
4. Untuk Toilet
   Hiled LED T8 LED 22W, nilai luminensi 2100
5. Untuk Ruangan kontrol panel dan gudang
   Hiled Tube 9W, nilai luminensi 900
6. Untuk ruang rapat
   Hiled Light 30W, nilai luminensi 2700

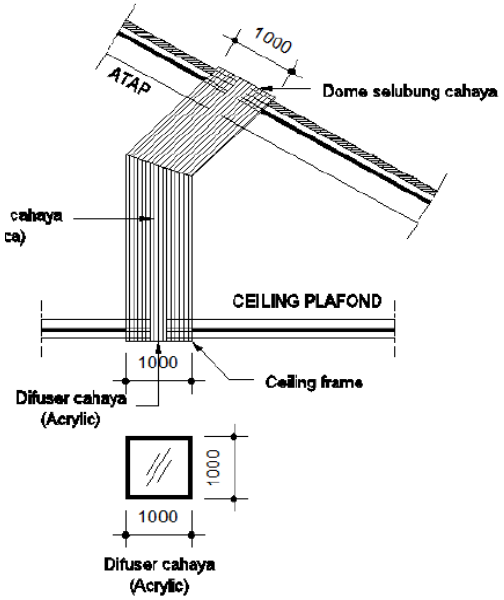
Desain Cerobong Cahaya

Desain cerobong cahaya bertujuan untuk:

- Untuk memaksimalkan asupan sinar matahari langsung secara terpusat pada ruangan tertentu
- Mengurangi ketergantungan penggunaan lampu di siang hari

- Menyediakan media pencahayaan alami tanpa harus merubah struktur

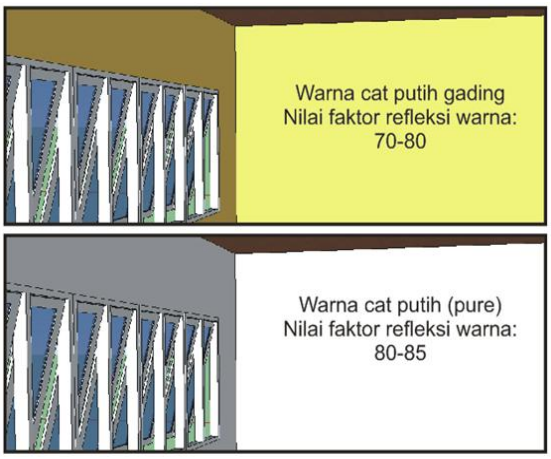




Gambar 7. Desain cerobong cahaya yang diusulkan

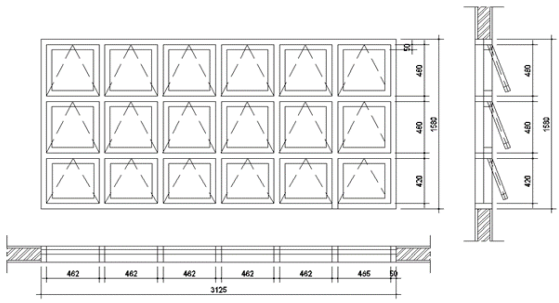
Penggantian Warna Cat Dinding

Berdasarkan kondisi eksisting Gedung, warna cat yang direncanakan yaitu warna putih gading dengan nilai faktor refleksi yaitu 70 - 80. Untuk memaksimalkan penerangan pada ruangan, dapat dilakukan penggantian warna cat rencana dengan warna baru yaitu warna putih dengan nilai faktor refleksi yaitu 80 - 85. Sehingga didapat kenaikan persentase pencahayaan akibat penggantian warna mencapai 21%.



Gambar 8. Faktor refleksi penggantian warna cat dinding

Perencanaan Ventilasi Alami



Gambar 9. Jendela Usulan Desain

Pemasangan jendela interior sebagai ventilasi alami bertujuan untuk memaksimalkan *cross ventilation* pada lantai 1 sampai lantai 5. Jendela dapat dibuka tutup sehingga dapat dipakai sesuai kebutuhan.

Penggunaan *Exhaust Fan*

Prinsip kerja *exhaust fan* adalah menyedot udara didalam ruangan sehingga udara segar dari luar ruangan mengalir kedalam ruangan tersebut. Penggunaan *exhaust fan* juga memiliki kelebihan lain yaitu usia aset yang lebih lama dan harga *exhaust fan* lebih murah daripada AC. *Exhaust fan* yang direkomendasikan adalah tipe *ventilating fan* yang dilengkapi dengan pipa penyalur udara keluar (*ducting*).
Spesifikasi *Exhaust Fan* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Exhaust Fan* 430 CMH, 77 Watt
- *Exhaust Fan* 530 CMH, 90 Watt
- *Exhaust Fan* 640 CMH, 122 Watt

Penggantian Jenis dan Spesifikasi AC

Penggantian spesifikasi AC yang digunakan agar lebih menghemat penggunaan beban listrik. AC yang diusulkan bervariatif, mulai dari 0,5 PK sampai dengan 3 PK.
Berikut adalah penggantian AC yang diusulkan:

Tabel 4. Jenis AC yang diusulkan

Eksisting	Redesign
AC *Split* 1,25 PK , Kapasitas 12000 Btu/hr	AC Split 12000 Btu/h, 1,5 PK
AC *Cassette* 5 PK, Kapasitas 45000 Btu/hr	AC Split 18000 Btu/h, 2 PK
AC *Cassette* 1,25 PK, Kapasitas 12000 Btu/hr	AC Split 8500 Btu/h, 1 PK
	AC Split 25000 Btu/h, 3 PK

Biaya Operasional Gedung Hasil Desain Ulang

Biaya operasional yang dihitung adalah biaya pemakaian konsumsi listrik sistem pencahayaan dan pengkondisian udara pada Gedung MST. Berikut adalah perbandingan hasil perhitungan biaya operasional gedung eksisting dan hasil redisain:

Tabel 5. Biaya total hasil desain ulang

Perbandingan biaya lampu		
Kondisi eksisting	Biaya per bulan	Biaya per tahun
	Rp 8.781.323	Rp 105.375.871
Kondisi redesain	Biaya per bulan	Biaya per tahun
	Rp 4.674.661	Rp 56.095.928

Perbandingan biaya pengkondisian udara		
Kondisi eksisting	Biaya per bulan	Biaya per tahun
	Rp 44.411.846	Rp 347.792.697
Kondisi redesain (AC + EF)	Biaya per bulan	Biaya per tahun
	Rp 6.657.448	Rp 54.644.796

Perbandingan biaya total (lampu + pengkondisian udara)		
Kondisi eksisting	Biaya per bulan	Biaya per tahun
	Rp 53.193.169	Rp 453.168.568
Kondisi redesain	Biaya per bulan	Biaya per tahun
	Rp 11.332.109	Rp 110.740.724

Berikut pada Tabel 6 adalah total perhitungan biaya secara keseluruhan meliputi biaya perawatan, penggantian komponen, depresiasi, dan persentase kenaikan biaya listrik rata-rata:

Tabel 6. Total biaya operasional (ditambah biaya penggantian, perawatan, dan kenaikan tarif listrik) kondisi eksisting

Tahun	Persentase kenaikan listrik rata2/ tahun	Eksisting (Rp)			
		Biaya Operasional	Replacement	Maintenance	Total (FV)
2015	19%	Rp 453.168.568	Rp -	Rp 31.134.081	Rp 484.302.649
2016	19%	Rp 539.270.596	Rp -	Rp 33.469.137	Rp 572.739.733
2017	19%	Rp 641.732.009	Rp -	Rp 35.979.322	Rp 677.711.331
2018	19%	Rp 763.661.091	Rp -	Rp 38.677.771	Rp 802.338.862
2019	19%	Rp 908.756.698	Rp 659.129.000	Rp 41.578.604	Rp 1.609.464.302
2020	19%	Rp 1.081.420.471	Rp -	Rp 44.696.999	Rp 1.126.117.470
2021	19%	Rp 1.286.890.360	Rp -	Rp 48.049.274	Rp 1.334.939.635
2022	19%	Rp 1.531.399.529	Rp -	Rp 51.652.970	Rp 1.583.052.499
2023	19%	Rp 1.822.365.439	Rp -	Rp 55.526.942	Rp 1.877.892.382
2024	19%	Rp 2.168.614.873	Rp 1.173.029.000	Rp 59.691.463	Rp 3.401.335.336
2025	19%	Rp 2.580.651.699	Rp -	Rp 64.168.323	Rp 2.644.820.022
2026	19%	Rp 3.070.975.522	Rp -	Rp 68.980.947	Rp 3.139.956.469
2027	19%	Rp 3.654.460.871	Rp -	Rp 74.154.518	Rp 3.728.615.389
2028	19%	Rp 4.348.808.436	Rp -	Rp 79.716.107	Rp 4.428.524.543
2029	19%	Rp 5.175.082.039	Rp 659.129.000	Rp 85.694.815	Rp 5.919.905.854
2030	19%	Rp 6.158.347.626	Rp -	Rp 92.121.926	Rp 6.250.469.553
2031	19%	Rp 7.328.433.675	Rp -	Rp 99.031.071	Rp 7.427.464.746
2032	19%	Rp 8.720.836.074	Rp -	Rp 106.458.401	Rp 8.827.294.475
2033	19%	Rp 10.377.794.928	Rp -	Rp 114.442.781	Rp 10.492.237.709
2034	19%	Rp 12.349.575.964	Rp 1.173.029.000	Rp 123.025.990	Rp 13.645.630.954
2035	19%	Rp 14.695.995.397	Rp -	Rp 132.252.939	Rp 14.828.248.336
Total (FV)					**Rp 94.803.062.248**
Nilai sisa aset					Rp 1.299.485.000
Total - Nilai sisa aset					Rp 93.503.577.248
Total (dalam NPV)					**Rp 21.646.619.142**

Berdasarkan tabel diatas diketahui biaya total yang terdiri dari biaya operasional, penggantian aset, dan pemeliharaan aset tersebutpada kondisi eksisting yaitu Rp. 21.646.619.142 (dalam *present value*). Nilai tersebut merupakan biaya yang akan dikeluarkan selama 20 tahun mendatang, terhitung mulai tahun 2015 sampai dengan 2035. Diketahui kenaikan tingkat inflasi rata – rata per tahun yaitu 7,59% (Sumber Badan Pusat Statistik tahun 2015).

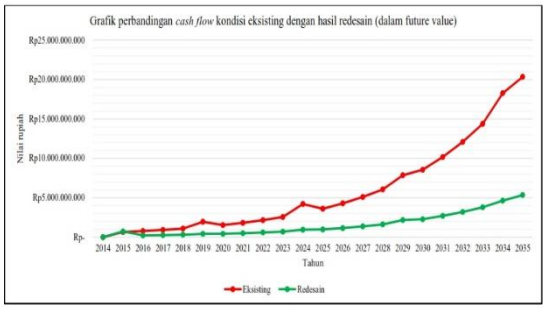
Tabel 7. Total biaya operasional (ditambah biaya penggantian, perawatan, dan kenaikan tarif listrik) setelah desain ulang

Tahun	Persentase kenaikan listrik rata2/ tahun	Desain (Rp)			
		Biaya Operasional	Replacement	Maintenance	Total
2015	19%	Rp 110.740.724	Rp 537.763.914	Rp 31.287.182	Rp 679.791.820
2016	19%	Rp 131.781.462	Rp -	Rp 33.633.720	Rp 165.415.182
2017	19%	Rp 156.819.940	Rp -	Rp 36.156.249	Rp 192.976.189
2018	19%	Rp 186.615.728	Rp -	Rp 38.867.968	Rp 225.483.696
2019	19%	Rp 222.072.717	Rp 61.655.000	Rp 41.783.066	Rp 325.510.782
2020	19%	Rp 264.266.533	Rp -	Rp 44.916.796	Rp 309.183.328
2021	19%	Rp 314.477.174	Rp -	Rp 48.285.555	Rp 362.762.729
2022	19%	Rp 374.227.837	Rp -	Rp 51.906.972	Rp 426.134.809
2023	19%	Rp 445.331.126	Rp -	Rp 55.799.995	Rp 501.131.121
2024	19%	Rp 529.944.040	Rp 123.055.000	Rp 59.984.994	Rp 712.984.035
2025	19%	Rp 630.633.408	Rp -	Rp 64.483.869	Rp 695.117.277
2026	19%	Rp 750.453.755	Rp -	Rp 69.320.159	Rp 819.773.915
2027	19%	Rp 893.039.969	Rp -	Rp 74.519.171	Rp 967.559.140
2028	19%	Rp 1.062.717.563	Rp -	Rp 80.108.109	Rp 1.142.825.672
2029	19%	Rp 1.264.633.900	Rp 254.655.000	Rp 86.116.217	Rp 1.605.405.117
2030	19%	Rp 1.504.914.341	Rp -	Rp 92.574.933	Rp 1.597.489.275
2031	19%	Rp 1.790.848.066	Rp -	Rp 99.518.053	Rp 1.890.366.119
2032	19%	Rp 2.131.109.199	Rp -	Rp 106.981.907	Rp 2.238.091.106
2033	19%	Rp 2.536.019.946	Rp -	Rp 115.005.550	Rp 2.651.025.497
2034	19%	Rp 3.017.863.736	Rp 130.313.000	Rp 123.630.967	Rp 3.271.807.703
2035	19%	Rp 3.591.257.846	Rp -	Rp 132.903.289	Rp 3.724.161.135
Total (FV)					**Rp 24.504.995.649**
Nilai sisa aset					Rp 272.595.000
Total - Nilai sisa aset					Rp 24.232.400.649
Total (dalam NPV)					**Rp 5.609.940.958**

Berdasarkan tabel diatas diketahui biaya total selama 20 tahun yang terdiri dari biaya operasional, penggantian aset, dan pemeliharaan aset setelah adanya desain ulang yaitu Rp. 5.609.940.958 (dalam *present value*).

Dengan demikian, berdasarkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 di atas, ditunjukkan bahwa dari segi biaya operasional keseluruhan, kondisi gedung setelah dilakukan desain ulang memiliki nilai yang lebih kecil bila dibandingkan biaya operasional dalam kondisi eksisting. Nilai optimalisasi dan penghematan dari desain baru mencapai 286% per tahun dari nilai *cash flow* aset (*replacement* dan *maintenance*).

Grafik di bawah ini menunjukan perbandingan nilai *cash flow* selama 20 tahun kedepan terkait biaya operasional, pemeliharaan, perbaikan, pergantian aset, dan biaya investasi (hanya pada usulan desain) dengan nilai inflasi berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2015.



Gambar 10. Grafik perbandingan *cash flow* kondisi eksisting dan redisain

Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui jika perbandingan nilai *cash flow* selama 20 tahun kedepan untuk hasil redisain lebih hemat. Namun pada tahun pertama, kondisi redisain memiliki nilai yang lebih besar. Nilai tersebut dipengaruhi oleh nilai investasi atau RAB yang diusulkan.

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya yang diperhitungkan hanya berfokus pada sistem pencahayaan dan pengkondisian udara pada Gedung MST Polban. Berikut adalah RAB yang diusulkan sesuai hasil desain ulang:

Tabel 8. RAB pekerjaan hasil redesain

No	Item	Satuan	Jumlah	Harga		Total	
A	PEKERJAAN						
1	Pembongkaran plesteran dinding	m2	249,88	Rp	4.875	Rp	1.218.165
2	Pembongkaran kaca jendela interior	m2	551,92	Rp	5.205	Rp	2.872.744
3	Pembongkaran plafond dan ceiling	m2	86,5	Rp	6.955	Rp	601.608
4	Pembongkaran instalasi kabel listrik	m	50	Rp	8.300	Rp	415.000
5	Pembongkaran atap untuk cerobong cahaya	bh	42,68	Rp	88.067	Rp	3.758.700
6	Pembongkaran insulasi atap	m2	42,68	Rp	9.437	Rp	402.771
7	Pemasangan glassblock	m2	249,88	Rp	30.340	Rp	7.581.359
8	pemasangan jendela hidup (interior)	m2	124,44	Rp	24.995	Rp	3.110.378
9	pemasangan instalasi AC	bh	17	Rp	57.000	Rp	969.000
10	Pemasangan instalasi Exhaust Fan + ducting	bh	34	Rp	356.000	Rp	12.104.000
11	Pengecatan ulang (dinding interior)	m2	249,88	Rp	39.000	Rp	9.745.320
12	Pemasangan kembali insulasi atap	m2	42,68	Rp	12.500	Rp	533.500
13	Pengecatan plafond	m2	86,5	Rp	4.340	Rp	375.410

Tabel 9. RAB kebutuhan bahan

B	BAHAN						
14	Kaca polos 5mm	bh	124,44	Rp	84.000	Rp	10.452.960
15	Glassblock	bh	200	Rp	23.000	Rp	4.600.000
16	Kusen alumunium	m1	50	Rp	73.000	Rp	3.650.000
17	Aksesoris kusen/ pintu alumunium	m1	25	Rp	3.800	Rp	95.000
18	Lampu Hiled LED 2X18W	bh	772	Rp	250.000	Rp	193.000.000
19	Lampu Hiled T8 LED 22W	bh	60	Rp	299.000	Rp	17.940.000
20	Lampu Hiled Tube 9W	bh	22	Rp	195.000	Rp	4.290.000
21	Lampu Hiled Downlight 25W	bh	112	Rp	399.000	Rp	44.688.000
22	Lampu Hiled Light 30w	bh	5	Rp	399.000	Rp	1.995.000
23	Kabel Lampu NYM NYA	m	50	Rp	42.600	Rp	2.130.000
24	Insulasi kabel listrik	m	50	Rp	12.000	Rp	600.000
25	Stop kontak broco	bh	10	Rp	71.000	Rp	710.000
26	Saklar tunggal	bh	20	Rp	10.000	Rp	200.000
27	Saklar ganda	bh	20	Rp	14.000	Rp	280.000
28	AC Split Daikin 0,5 PK	bh	1	Rp	2.755.000	Rp	2.755.000
29	AC Split Daikin 1 PK	bh	11	Rp	3.100.000	Rp	34.100.000
30	AC Split Daikin 1,5 PK	bh	2	Rp	4.250.000	Rp	8.500.000
31	AC Split Daikin 1,75 PK	bh	1	Rp	5.100.000	Rp	5.100.000
32	AC Split Daikin 2 PK	bh	2	Rp	5.600.000	Rp	11.200.000
33	EF 430 CMH	bh	29	Rp	1.700.000	Rp	49.300.000
34	EF 640 CMH	bh	2	Rp	2.300.000	Rp	4.600.000
35	EF 530 CMH	bh	3	Rp	2.500.000	Rp	7.500.000
36	Ducting Exhaust Fan	m2	34	Rp	1.250.000	Rp	42.500.000
37	Cerobong Cahaya (Tabung refleksi + dome kaca)	bh	16	Rp	2.400.000	Rp	38.400.000
38	Insulasi atap asphalt	m2	45	Rp	122.000	Rp	5.490.000
	Total RAB					Rp	537.763.914

Berdasarkan Rencana Anggaran Biaya yang telah diusulkan, dapat diketahui bila biaya investasi yang diusukan pada tahun pertama adalah sebesar Rp. 537.763.914.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis sistem pencahayaan dan pengkondisian udara yang telah dilakukan, didapatkan beberapa poin sebagai berikut:

1. Intensitas pencahayaan alami yang kurang terdapat pada jam operasional pagi, sedangkan pada siang hari dan sore hari mempunyai intensitas pencahayaan yang paling tinggi.
2. Titik ukur terjauh dari bukaan mempunyai intensitas pencahayaan alami yang kurang.
3. Pada pencahayaan buatan, diketahui bahwa pada lantai 1 untuk beberapa ruangan mempunyai intensitas pencahayaan yang kurang, dengan selisih berkisar antara 10% - 77% dari standar pencahayahaan masing – masing ruangan. Sedangkan untuk lantai 2 sampai lantai 5, intensitas pencahayaan buatan yang didapatkan relatif berbeda.
4. Pada sistem pengkondisian udara alami, diketahui bahwa pada seluruh ruangan cenderung masuk dalam kategori Nyaman optimal dengan suhu berkisar antara 22,8°C – 25,8°C.
5. Pada pengkondisidan udara mekanis, terdapat beberapa ruangan yang mempunyai kapasitas terlampau jauh dari beban total yang ada. Seperti pada ruangan Perpustakaan lantai 1 yang mempunyai beban total maksimal yaitu 6993 btu/hr sedangkan kapasitas AC sebesar 12000 btu/hr. Sama halnya dengan beberapa ruangan lainnya seperti ruang rapat lantai 2, ruang *Applied Technology Center* lantai 3, ruang staf lantai 4 dan ruang administrasi prodi lantai 5.

6. Kecepatan dan laju udara lantai 1 dinilai kurang efektif, hal tersebut dikarenakan jendela eksterior yang merupakan jendela mati, sehingga asupan udara segar dari luar ruangan tidak bisa didistribusikan ke setiap interior ruangan. Sedangkan untuk lantai 2 – 5 mempunyai laju dan kecepatan udara yang cukup.

Sehingga perlu dilakukan perencanaan ulang dan perubahan desain terhadap beberapa komponen sistem pencahayaan dan pengkondisian udara. Perubahan desain yang dilakukan diantaranya adalah:

1. Sistem pencahayaan
   - Pemasangan *glassblock* pada lantai 1 sampai lantai 5 untuk meminimalisir penggunaan lampu berlebih pada jam operasional serta menambah intensitas pencahayaan pada suatu ruangan yang mempunyai area terjauh dari bukaan yang ada.
   - Pemasangancerobong cahaya pada area lantai 5 (koridor). Pada kondisi eksisting, nilai biaya operasional penggunaan lampu adalah sebesar Rp. 3.291.936 per tahun, sedangkan setelah dilakukan pemasangan cerobong cahaya, kebutuhan pencahayaan area koridor pada jam operasional (07.00 – 17.00) telah terpenuhi. Sehingga tidak memerlukan penggunaan pencahayaan buatan/lampu.
   - Perubahan spesifikasi lampu yang lebih ramah lingkungan dan mempunyai *life hour* yang lebih lama. Penggantian spesifikasi lampu tersebut dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pencahayaan buatan pada setiap ruangan, serta mampu menekan biaya operasional akibat penggunaan lampu. Pada kondisi eksisting diketahui biaya operasional akibat lampu yaitu sebesar RpRp 105.375.871 per tahun, sedangkan biaya operasional hasil perencanaan ulang yaitu sebesar Rp. 56.095.928 per tahun, sehingga didapatkan persentase penghematan biaya operasional dari hasil perencanaan ulang yaitu sebesar 87,8%
   - Penggantian warna cat rencana (berdasarkan RKS) dengan warna cat yang lebih terang. Hal tersebut dilakukan untuk menambah nilai refleksi cahaya akibat warna cat dinding.
2. Sistem pengkondisian udara
   - Penggantian jendela interior dari jendela mati ke jendela hidup. Jendela hidup tersebut berfungsi sebagai penambahan laju aliran udara alami dari luar ke setiap ruangan gedung dengan menerapkan metode *cross ventilation*.
   - Penggantian spesifikasi AC yang bertujuan untuk menghemat penggunaan beban listrik berlebih akibat penggunaan AC. AC yang diusulkan bervariatif, mulai dari 0,5 PK s/d 3 PK. Pada kondisi eksisting diketahui biaya operasional akibat penggunaan AC yaitu sebesar Rp 347.792.697 per tahun, sedangkan biaya operasional hasil perencanaan ulang yaitu sebesar Rp. 54.644.796 per tahun
   - Pemasangan Exhaust Fan yang berfungsi untuk menyedot udara panas dari masing - masing ruangan, serta untuk mengurangi ketergantungan pemakaian AC. Dilakukan kombinasi AC dan Exhaust Fan pada lantai 3 dan 4, serta di seluruh ruangan lantai 5.

Dari hasil perhitungan telah didapatkan bahwa selisih atau nilai penghematan hasil desain dengan kondisi eksisting yaitu sebesar 286%.Pada kondisi eksisting, total biaya keseluruhan akibat biaya operasional, biaya penggantian aset dan pemeliharaan selama 20 tahun (2015 – 2035) yaitu sebesar Rp. 21.646.619.142 (dalam *Net Present Value*), sedangkan total biaya keseluruhan hasil desain yaitu Rp. 5.609.940.958. sehingga didatapkan persentase penghematan keseluruhan yaitu sebesar 286%.

Saran

1. Melakukan penanaman pohon di bagian depan gedung (timur) agar aliran udara yang masuk melalui bukaan ke dalam ruangan memiliki kualitas udara yang bersih dan segar serta memberikan kenyamanan bagi penghuni gedung. Pohon yang ditanam sebisa mungkin tidak mengganggu pencahayaan akibat sinar matahari yang berorientasi dari arah timur gedung.
2. Memasang tirai jendela di setiap ruangan dengan tujuan untuk mengurangi pencahayaan langsung akibat radiasi sinar matahari serta untuk mengurangi efek silau kepada penghuni ruangan.

3. Waktu/ lama penggunaan lampu, AC dan *Exhaust fan* harus disesuaikan dengan hasil evaluasi dan perencanaan, sehingga diharapkan dapat mengurangi biaya operasional akibat penggunaan listrik berlebih.
4. Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan yang telah dilakukan, diharapkan agar pihak manajemen/ Instansi terkait menerapkan hasil perencanaan ulang yang diusulkan sehingga dapat mengurangi ketergantungan akibat listrik berlebih yang berpengaruh terhadap pengeluaran biaya operasional pada Gedung MST POLBAN.

Daftar Pustaka

Departemen Pekerjaan Umum. 2014. "*Daftar Harga Material dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan kota Bandung, Provinsi Jawa Barat"*. Bandung

Faizal, Diki. 2013 *"Identifikasi Pencahayaan Dan Tata Udara Gedung Elemen Politeknik Negeri Bandung"*. Politkentik Negeri Bandung

McGuinness, Stein, Reynolds. 1980. "*Mechanical and Electrical Equipment for Building"* . New York

Pusat Informasi Pengembangan Permukiman dan Bangunan (PIP2B). *"Draft Pedoman Umum Perencanaan Bangunan Gedung"*

Standar Nasional Indonesia (SNI 6197-2011). *"Konversi Energi Pada Sistem Pencahayaan Bangunan*

Standar Nasional Indonesia (SNI 6390-2011). *"Konversi Energi Pada Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*

Standar Nasional Indonesia (SNI 16-7062-2004). *"Pengukuran Intensitas Penerangan Di Tempat Kerja"*

Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2396-2001). *"Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami Pada Bangunan Gedung*

Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6572-2001). *"Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi Dan Pengkondisian Udara"*

Sulistya, Shona dan Muhammad Iqbal 2014. *"Optimalisasi Tata Udara Dan Tata Cahaya Dengan Parameter Biaya Operasional Pada Gedung Jurusan Teknik Sipil 2 Politeknik Negeri Bandung"*. Politeknik Negeri Bandung

United States Department of Housing and Urban Development. "*ASHRAE GRIP 158 – Cooling and Heating Load Calculation Manual"*