

EFISIENSI ENERGI RUANG BERSIH PRODUKSI OBAT BETALAKTAM PABRIK FARMASI

Rizky Indriani¹, C. Rangkuti²

¹Universitas Trisakti, Rizky Indriani, Indonesia

²Universitas Trisakti, Chalilullah Rangkuti, Indonesia

*rizky.bmg@gmail.com

Abstrak

Ruang bersih merupakan ruangan dimana jumlah partikel yang terdapat di dalamnya dikontrol. Selain partikel, ada beberapa parameter lainnya yang ikut dikontrol seperti temperatur, kelembaban, jumlah pertukaran udara dalam satu jam serta tekanan udara dalam ruangan. Penelitian ini dilakukan pada sebuah pabrik farmasi. Kurangnya pemahaman akan persyaratan aliran udara dan adanya kekhawatiran tentang kebersihan dan persyaratan operasional, menyebabkan kecenderungan berlebihan dalam desain ruang bersih. Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat unit yang terpasang di lapangan sudah memenuhi standard ruang bersih ataupun belum. Terlebih dahulu dilakukan identifikasi ruang bersih sesuai dengan standard BPOM, standard US FED STD 209E dan standard ISO no 14644. Metode perhitungan beban pendinginan menggunakan standard *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)*. Dari hasil penelitian diperoleh beban pendinginan untuk 4 sistem tata udara yang sudah terpasang di lapangan sebesar 397.700 Btu/h sedangkan dari perhitungan ulang beban pendingin yang dibutuhkan 346.473 Btu/h terjadi penurunan sebesar 13%. Jika dikonversikan dengan biaya listrik bulanan dengan memperhitungkan LWBP dan WBP asumsi mesin produksi selama 24 jam maka biaya listrik dapat hemat 18% dari Rp100.527.482 menjadi Rp82.449.827. *Return On Investment* sebesar 3,65% dan dapat dicapai dalam jangka waktu 28 bulan. Melalui penelitian ini, diharapkan industri farmasi dapat menekan biaya operasional produksi.

Kata kunci : ruang bersih, efisiensi energi, partikel, beban pendinginan.

Pendahuluan

Meningkatnya penggunaan ruang bersih pada industri diikuti pula dengan meningkatnya penggunaan energi. Menurut data yang dikeluarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), dimana 60% energi yang digunakan dalam bangunan digunakan oleh Sistem Tata Udara (STU). Penggunaan energi secara efisien memegang peranan penting dalam menghemat biaya produksi suatu industri.

Upaya efisiensi energi dapat dilakukan melalui tiga tahapan yaitu: menghilangkan buangan energi, mengurangi rugi-rugi energi dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi [1].

Efisiensi energi ruang bersih yang dibahas dalam penelitian ini adalah ruangan tempat produksi obat betalaktam sebuah pabrik farmasi. Betalaktam adalah golongan

antibiotika yang memiliki kesamaan komponen struktur berupa adanya cincin betalaktam dan umumnya digunakan untuk mengatasi infeksi bakteri. Terdapat sekitar ± 56 macam antibiotik betalaktam yang memiliki aktivitas antimikrobal pada bagian cincin betalaktamnya dan apabila cincin tersebut dipotong oleh mikroorganisme maka akan terjadi resistansi antibiotik terhadap antibiotik tersebut. Dengan demikian kebutuhan ruang bersih dalam ruangan tempat memproduksi obat ini sangat penting untuk menjamin mutu obat yang dihasilkan.

Ruang bersih menurut standard *International Organization for Standardization (ISO)* no 14644-1 merupakan sebuah ruang dimana konsentrasi dari partikel yang ada di udara pada ruangan tersebut dikontrol, dirancang secara khusus serta digunakan untuk meminimalisir hadirnya, teregenerasi

dan tersimpannya partikel yang tidak diinginkan didalam ruangan dan termasuk pula pengaturan pada parameter-parameter lainnya seperti temperatur, kelembaban dan tekanan pada ruangan [2].

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Menghitung kembali beban pendinginan sistem tata udara yang telah ada.
- Melakukan perbaikan sistem tata udara dengan beberapa peluang penghematan energi.
- Menganalisis hasil perhitungan dan menyajikannya dalam bentuk penghematan energi dan biaya produksi yang dapat dicapai.

Untuk klasifikasi kelas kebersihan ruang pembuatan obat secara umum menurut Cara Pembuatan Obat yang Baik (CPOB) adalah kelas A, B, C D dan E. Klasifikasi kelas kebersihan ruang bersih menurut Cara Pembuatan Obat yang (CPOB) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standard ruang bersih BPOM [3]

Kelas Ruang	Suhu °C	RH (%)	Pertukaran Udara	Perbedaan Tekanan Udara (Pascal)
A	16-25	45-55	Aliran udara satu arah kecepatan aliran udara 0,36-0,54 m/s	Antar Kelas Ruang 10-15 Pascal Antar Kelas Ruang yang Sama ±5 Pascal
B	16-25	45-55	Aliran udara turbulen dengan pertukaran udara minimal 20 kali	
C	16-25	45-55	Minimal 20 kali	
D	20-27	40-60	5-20 kali	
E	20-27	Maks 70	5-20 kali	

Pada penelitian ini, objek penelitian yaitu gedung betalaktam pada pabrik farmasi masuk kedalam kelas E.

Beban Pendinginan adalah jumlah total energi panas yang harus dihilangkan dalam satuan waktu dari ruangan yang didinginkan. Beban ini diperlukan untuk mengatasi beban panas eksternal dan internal. Beban panas eksternal diakibatkan oleh panas yang melalui konduksi, radiasi dan konveksi sedangkan beban panas internal diakibatkan oleh panas yang timbul karena penerangan, operator dan peralatan.

Beban eksternal

Ruang bersih yang dijadikan objek penelitian tidak terkena matahari secara langsung. Sehingga untuk menghitung beban pendinginan yang melalui dinding, kaca dan pintu digunakan rumus:

$$Q = U \times A \times TD \quad (1)[4]$$

Dimana

Q = Beban pendinginan (Btu/h)

U = Koefisien perpindahan panas, (Btu/h. ft².°F)

A = Luas total dinding/kaca/pintu (ft²)

TD = T_{luar ruangan} - T_{rancangan} (°F)

Beban internal

Beban panas internal untuk seluruh bangunan akibat penerangan, operator dan peralatan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{\text{penerangan}} = 3,412 \times q \times F \times F_s \times CLF \quad (2)[4]$$

Dimana:

3,412 = Faktor konversi Watt ke Btu/h

q = Daya yang diperlukan per lampu (Watt)

F = Fraction yang digunakan per jumlah lampu

F_s = Faktor balancing

CLF = Cooling load factor untuk lampu

$$Q_{s \text{ operator}} = q_s/p \times N \times CLF \quad (3)[4]$$

$$Q_{l \text{ operator}} = q_l/p \times N \quad (4)[4]$$

Dimana:

q_{s/p} = Sensible heat gain per orang (Btu/h.orang)

q_{l/p} = Latent heat gain per orang (Btu/h.orang)

N = Jumlah operator

CLF = Cooling Load Factor operator

$$Q_{\text{peralatan}} = 3,412 \times q_T \times N \quad (5)[4]$$

Dimana:

q_T = Daya input peralatan (Btu/h)

N = Jumlah peralatan

Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menghitung kembali beban pendinginan pada kondisi sistem tata udara yang telah ada dan kondisi sistem tata udara setelah dilakukan perbaikan.

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

- Identifikasi Operasional

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data di lapangan untuk melihat data operasional unit yang digunakan dan melakukan pengukuran parameter-parameter ruang bersih. Dari data yang sudah didapat, dilakukan analisis ruangan mana yang sudah memenuhi standar ruang bersih dan mana yang belum dan yang memerlukan perbaikan. Parameter yang diambil pengukuran datanya yaitu temperatur udara, kelembaban udara, jumlah partikel, jumlah pertukaran udara setiap satu jam dan tekanan udara dalam ruangan tersebut.

- Perhitungan Beban Pendinginan Ruangan.

Setelah tahap identifikasi operasional dilakukan, maka akan terlihat parameter mana saja yang sudah memenuhi standar maupun yang belum memenuhi standar. Apabila ada beberapa parameter yang kurang ataupun melebihi standar. Maka dilakukan tahap perhitungan ulang kebutuhan beban pendinginan ruangan dengan standard perhitungan yang mengacu pada standard *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)*.

- Seleksi Unit Sistem Tata Udara

Setelah tahap perhitungan ulang, maka didapat data beban pendinginan yang dapat digunakan untuk seleksi unit tata udara.

- Perhitungan Konsumsi Daya Listrik

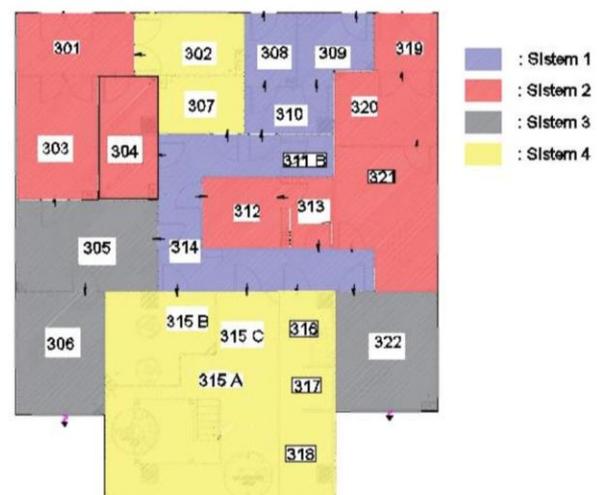
Dengan menggunakan data seleksi unit tata udara yang baru, dapat dilihat penurunan konsumsi daya listrik. Data konsumsi daya listrik pada masing-masing unit digunakan sebagai acuan untuk menghitung penurunan biaya konsumsi energi listrik.

- Perhitungan *Return On Investment (ROI)*

ROI merupakan salah satu bentuk dari rasio profitabilitas yang dimaksudkan dapat mengukur kemampuan perusahaan dengan keseluruhan dana yang ditanamkan dalam aktiva yang digunakan untuk operasinya perusahaan untuk menghasilkan keuntungan.

Hasil

Pada Gambar 1 ditunjukkan denah bangunan gedung betalaktam sebuah pabrik farmasi yang dijadikan objek penelitian. Denah tersebut dibagi menjadi empat sistem tata udara dengan total 23 ruangan.



Gambar 1. Pengelompokan ruangan

Gambar 1 menunjukkan pengelompokan sistem 1,2,3 dan 4 dengan masing-masing warna yang berbeda sesuai dengan keterangan gambar. Satu sistem tata udara menunjukkan bahwa ruangan tersebut disuplai oleh satu *Air Handling Unit (AHU)*. AHU merupakan unit yang mengatur tata udara. Disebut unit karena AHU terdiri dari beberapa alat yang memiliki fungsinya masing-masing.

- Identifikasi Operasional

Pada Tabel 2 ditunjukkan data hasil pengukuran temperatur udara dan kelembaban udara. Standard Badan Pemeriksa Obat dan Makanan (BPOM) menetapkan untuk kelas kebersihan E, temperatur udara memiliki batas 20-27 °C dan kelembaban udara maksimal 70%.

Tabel 2. Identifikasi temperatur udara dan kelembaban udara

Nama Ruangan	Temperatur Udara (°C)	Kelembaban Udara (%)
Ladies Production Gowning 1 (308)	21,8	56,3
Gents Production Gowning 1 (309)	20,7	62,3
Personel Airlock 1 (310)	20,6	62,7
Janitor 1 (311)	20,8	61,7
Weighing 1 (312)	21,7	56,0
Dispensed Raw Material Staging 1 (313)	22,6	59,9
Grey Corridor (314)	22,4	52,9
Material Airlock 1 (301)	23,4	51,7
Packaging Material 1 (303)	22,6	60,7
Raw Material Staging 1 (304)	21,8	56,3
Material Airlock 2 (319)	23,0	59,3
Packaging Material 2 (320)	23,5	57,8
Gargle Bottle Cleaning (321)	23,5	57,3
Bottle Cleaning (305)	21,5	56,2
Bottle Cleaning (306)	20,8	62,5
Gargle Filling (322)	21,7	60,2
Liquid Transfer (302)	22,0	57,7
Liquid Weighing (307)	21,2	57,3
Mixing Gargle (315A)	21,7	57,0
Oral Solution Mixing (315B)	21,5	56,8
Washing 1 (316)	21,8	56,8
Wet Clean Equipment 1 (317)	22,3	56,3
Dry Clean Equipment 1 (318)	21,9	56,4

Pada kolom data hasil pengukuran temperatur dan kelembaban dapat dilihat bahwa dari hasil pengukuran dua parameter tersebut untuk masing-masing ruangan sudah memenuhi standard yang ditetapkan oleh BPOM yaitu 20-27°C sebagai batas pengukuran temperatur dan maksimal 70% sebagai batas pengukuran kelembaban untuk kelas E.

Dari hasil data pengukuran parameter temperatur udara dapat disimpulkan penggunaan unit yang berkaitan dengan temperatur yaitu *cooling coil* di dalam *Air Handling Unit* (AHU) sudah tepat sehingga tidak memerlukan perbaikan pada unit ini.

Dari hasil data pengukuran parameter kelembaban udara dapat disimpulkan penggunaan unit yang berkaitan dengan kelembaban yaitu *reheater* di dalam *Air Handling Unit* (AHU) sudah tepat sehingga tidak memerlukan perbaikan pada unit ini.

Pada Tabel 3 ditunjukkan data hasil pengukuran jumlah partikel, jumlah pertukaran udara setiap satu jam dan tekanan udara dalam ruangan. Standard Badan Pemeriksa Obat dan Makanan (BPOM) menetapkan untuk kelas kebersihan E, jumlah partikel 0,5 µm = 3.520.000; pertukaran udara

setiap satu jam 5-20 kali; tekanan udara untuk ruangan beda kelas kebersihan 10-15 Pa sedangkan untuk ruangan dengan kelas kebersihan yang sama ±5 Pa.

Tabel 3. Identifikasi jumlah partikel, jumlah pertukaran udara setiap satu jam dan tekanan udara dalam ruangan

Nama Ruangan	Jumlah Partikel 0,5 µm	ACH T/H	Tekanan Udara (Pa)
Ladies Production Gowning 1 (308)	90.633	20,9	15,3
Gents Production Gowning 1 (309)	66.948	20,2	15,2
Personel Airlock 1 (310)	77.005	20,8	20,5
Janitor 1 (311)	121.530	24,1	10,6
Weighing 1 (312)	61.625	20,6	10,4
Dispensed Raw Material Staging 1 (313)	64.642	23,5	15,3
Grey Corridor (314)	88.024	20,4	30,5
Material Airlock 1 (301)	76.366	20,8	15,4
Packaging Material 1 (303)	79.945	20,7	20,4
Raw Material Staging 1 (304)	94.946	22,0	20,6
Material Airlock 2 (319)	87.304	21,5	15,2
Packaging Material 2 (320)	60.093	20,7	20,4
Gargle Bottle Cleaning (321)	69.225	20,1	25,5
Bottle Cleaning (305)	82.359	20,5	25,5
Bottle Cleaning (306)	53.258	20,0	30,5
Gargle Filling (322)	68.984	20,3	15,2
Liquid Transfer (302)	94.527	20,7	20,6
Liquid Weighing (307)	58.669	21,4	15,4
Mixing Gargle (315A)	68.454	20,5	15,4
Oral Solution Mixing (315B)	84.209	24,2	15,5
Washing 1 (316)	94.434	20,1	10,2
Wet Clean Equipment 1 (317)	88.787	21,6	10,3
Dry Clean Equipment 1 (318)	77.979	21,3	10,3

Pada kolom data hasil pengukuran partikel dapat dilihat bahwa dari hasil pengukuran partikel untuk masing-masing ruangan sudah sangat memenuhi standard yang ditetapkan oleh ISO 14644 yaitu 3.520.000 per meter kubik untuk kelas kebersihan E. Penyaring udara di dalam AHU terbagi menjadi 3 step yaitu pra penyaring udara, medium penyaring udara dan yang terakhir hepa penyaring udara. Jika dilihat dari hasil pengukuran partikel dalam ruangan, hasilnya menunjukkan bahwa jumlah partikel dalam ruangan masih jauh dibawah standard yang berlaku yang berarti sistem penyaring udara pada seluruh sistem sudah sangat bagus. Mungkin perlu menggunakan sistem filtrasi yang lebih sederhana sehingga kehilangan tekanan pada sistem filtrasi ini menjadi lebih kecil yang selanjutnya dapat digunakan kompresor

dengan daya yang lebih kecil pula. Namun, penggunaan penyaring udara juga memiliki standard yang ditetapkan BPOM, dimana medium penyaring udara menggunakan filter F8 dengan efisiensi penyaringan 75% dan hepa penyaring udara menggunakan hepa H13 dengan efisiensi penyaringan 99,95. Penyaring udara yang telah terpasang di lapangan sudah sesuai dengan standard, sehingga kita tidak bisa mengganti filter dengan efisiensi yang lebih rendah untuk menghemat konsumsi listrik.

Pada kolom data hasil pengukuran pertukaran udara dalam satu jam atau biasa disebut *airchange (ACH)* dapat dilihat seluruhnya berada di atas kriteria yang ditetapkan oleh BPOM yaitu 5-20 kali dalam satu jam. Untuk parameter pertukaran udara jika terlalu besar nilainya maka energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan unit fan akan semakin besar pula, sehingga menyebabkan ketidakefisienan energi dalam sistem ruang bersih. Hal tersebut dapat diperbaiki dengan cara mengubah frekuensi perputaran unit fan, jika pada pengaturan awal ditempatkan pada posisi *high*, maka dapat diubah ke posisi *medium* atau *low*.

Dari hasil identifikasi operasional tekanan udara dalam ruangan, dapat dilihat bahwa hanya beberapa ruangan saja yang tekanannya sesuai dengan standard yaitu ruangan 311, 320, 316, 317 dan 318. Sedangankan ruangan 312, 313, dan 321 memiliki tekanan udara dalam ruangan yang kurang dari standard. Ruangan yang melebihi standard lebih banyak dari ruangan yang sudah sesuai maupun yang kurang dari standard. Dari total 23 ruangan, 15 ruangan diantaranya memiliki tekanan ruangan yang melebihi tekanan standard. Ruangan-ruangan yang melebihi standard yaitu ruangan 308, 309, 310, 314, 301, 303, 304, 319, 305, 306, 322, 302, 307, 315A, dan 315B. Kelebihan tekanan ruangan berkisar 5-10 Pa. Tekanan udara yang melebihi standard desain akan sangat berpengaruh pada konsumsi energi pada ruang bersih. Namun sebaliknya tekanan ruangan yang tidak memenuhi standard desain tersebut nantinya dapat berpengaruh pada persyaratan aliran udara ruangan yang dapat menimbulkan kontaminasi silang. Sama halnya dengan

parameter jumlah pertukaran udara setiap satu jam, tekanan udara dalam ruangan dapat diperbaiki dengan cara mengubah frekuensi perputaran unit fan, jika pada pengaturan awal ditempatkan pada posisi *high*, maka dapat diubah ke posisi *medium* atau *low*. Selain mengubah pengaturan frekuensi perputaran unit fan, dapat dilakukan pula pengaturan udara melalui damper yang ada pada masing-masing saluran udara. Damper dapat diatur dengan dibuka 25%, 50%, 75% atau 100%.

- Perhitungan Beban Pendinginan Ruangan

Hasil identifikasi operasional menunjukkan bahwa ada beberapa parameter yang kurang maupun melebihi standard ruang bersih yang ditetapkan BPOM. Untuk itu dilakukan perhitungan ulang untuk mengetahui apakah unit yang digunakan sudah sesuai dengan standard perhitungan ataupun belum.

Pada tabel 4 ditunjukkan data hasil perhitungan kebutuhan beban pendinginan untuk sistem 1,2,3 dan 4. Perhitungan beban pendinginan ruang meliputi beban eksternal, internal dan ventilasi. Diperoleh kebutuhan beban pendinginan untuk sistem 1 sebesar 79.763,43 Btu/h, sistem 2 sebesar 84.449,19 Btu/h, sistem 3 sebesar 79.291,57 dan sistem 4 sebesar 102.968,93 Btu/h.

Tabel 4. Perhitungan beban pendinginan

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4
Beban Eksternal				
Dinding	294,48	931,97	1.240,82	1.013,72
Kaca	-	276,38	644,88	460,63
Pintu	120,81	241,62	-	-
Beban Internal				
Penerangan	1.040,00	936,00	624,00	1.352,00
Penghuni	10.920,00	11.700,00	9.360,00	12.480,00
Peralatan	-	3.100,00	12.400,00	12.400,00
Beban Ventilasi	23.947,00	25.657,50	20.526,00	27.368,00
Beban lain-lain	1.610,82	1.637,82	1.412,64	2.124,90
Faktor Keamanan (10%)	3.793,31	4.448,13	4.620,83	5.719,92
Total (Btu/h)	41.726,42	48.929,41	50.829,17	62.919,17

Pada Tabel 5 ditunjukkan perbandingan kebutuhan beban pendinginan ruangan hasil

perhitungan ulang dan data unit yang sudah terpasang.

Tabel 5. Perbandingan kebutuhan beban pendinginan

	Total Beban Pendinginan Lama (Btu/h)	Total Beban Pendinginan Baru (Btu/h)
Sistem 1	102.035,00	79.763,43
Sistem 2	116.475,00	84.449,19
Sistem 3	85.705,00	79.291,57
Sistem 4	93.485,00	102.968,93

Sistem 1-4 total perhitungan kebutuhan beban pendinginan seluruhnya di bawah nilai beban pendinginan dari unit yang sudah terpasang. Dalam hal ini, terlihat bahwa pada unit yang terpasang sebelumnya desain tata udara yang dilakukan terlalu berlebihan.

Memang ruang bersih ini membutuhkan beban pendinginan yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan komersial lainnya, namun, tidak berarti dalam desain harus menggunakan faktor keamanan yang terlalu besar. Karena tentu saja nantinya akan membuat biaya operasional semakin membesar.

- Perhitungan Konsumsi Daya Listrik

Tabel 6. Konsumsi Daya Listrik

	Unit Lama (Watt)		Unit Baru (Watt)	
	Spesifikasi	Daya	Spesifikasi	Daya
AHU 1				
Motor	Siemens	2.200	Siemens	2.200
Fan Unit	Zielh-Abegg RH 35C	4.000	Zielh-Abegg RH 35C	4.000
Re-Heater	ILF	7.200	ILF	7.200
AHU 2				
Motor	Siemens	2.200	Siemens	2.200
Fan Unit	Zielh-Abegg RH 35C	4.000	Zielh-Abegg RH 35C	4.000
Re-Heater	ILF	8.100	ILF	7.200
AHU 3				
Motor	Siemens	2.200	Siemens	2.200
Fan Unit	Zielh-Abegg RH 35C	4.000	Zielh-Abegg RH 35C	4.000
Re-Heater	ILF	6.300	ILF	7.200
AHU 4				
Motor	Siemens	2.200	Siemens	2.200
Fan Unit	Zielh-Abegg RH 35C	4.000	Zielh-Abegg RH 35C	4.000
Re-Heater	ILF	6.300	ILF	8.100
Chiller	Trane CGAH 060	75.200	Trane CGAP 050	50.400

Setelah didapat kebutuhan beban pendinginan untuk setiap sistem, maka dapat dilakukan seleksi unit yang baru. Masing-masing komponen unit memiliki konsumsi daya listrik yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Total kebutuhan daya listrik pada unit lama sebesar 127.900 Watt sedangkan jika menggunakan seleksi unit baru kebutuhan daya listrik turun menjadi 104.900 Watt. Penurunan konsumsi daya listrik sekitar 18%.

Tabel 7. Penghematan biaya

	Unit Lama	Unit Baru	Penghematan
kWh per bulan			
kWh LWBP	2.558	2.098	18%
kWh WBP	512	420	18%
Biaya Listrik perbulan			
LWBP (Rp.)	77.340.874	63.432.820	18%
WBP (Rp.)	23.186.607	19.017.006	18%
Total Biaya Listrik (Rp.)	100.527.482	82.449.827	18%

Jika dikonversikan dengan biaya listrik bulanan dengan memperhitungkan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP) asumsi mesin produksi selama 24 jam maka biaya listrik dapat hemat 18% dari Rp.100.527.482 menjadi Rp.82.449.827.

Tarif PLN yang digunakan pada perhitungan ini, merupakan tarif Agustus 2016 dengan beban diatas 200 kVA. Dimana tarif untuk LWBP sebesar Rp.1.007,83 per kWh dan WBP sebesar 1,5x LWBP yaitu Rp.1.510,73 per kWh.

Tabel 8. Investasi Penggantian Unit

	Unit Baru (watt)	
	Kapasitas (Btu/h)	Harga (IDR)
AHU 1	79.763	35.941.000
AHU 2	84.449	35.941.000
AHU 3	79.292	35.941.000
AHU 4	102.969	37.335.000
Chiller	410.000	300.000.000
Biaya Bongkar Pasang		50.000.000
Total		495.158.000

Penggantian unit yang akan dibahas hanya AHU dan *chiller* saja karena untuk saluran

udara, jika penggantian menggunakan AHU yang lebih kecil dan aliran udara yang lebih kecil tidak akan berpengaruh pada sistem tata udara.

- Perhitungan *Return On Investment* (ROI) ROI menunjukkan seberapa besar laba atau keuntungan yang didapat atas investasi yang telah ditanam. Pada penelitian ini akan dihitung ROI.

$$ROI = (\text{Laba} / \text{Investasi}) \times 100\%$$

$$ROI = (18.077.655 / 495.158.000) \times 100\%$$

$$ROI = 3,65\%$$

Biaya investasi yang dikeluarkan akan dapat kembali dalam waktu 28 bulan. Dilihat dari jangka waktu ROI yang cukup singkat, memungkinkan untuk perusahaan melakukan investasi penggantian unit dalam rangka mengurangi biaya operasional produksi.

Kesimpulan

Dari hasil analisis sistem tata udara pada ruang bersih diatas, maka dapat disimpulkan:

1. Terjadi desain sistem tata udara pada ruang bersih yang terlalu berlebihan.
2. Parameter temperatur udara, kelembaban udara dan jumlah partikel dalam ruangan memiliki hasil pengukuran sesuai dengan standard BPOM.
3. Parameter pertukaran udara setiap satu jam memiliki hasil pengukuran rata-rata di atas standard yang diterapkan BPOM.
4. Parameter tekanan udara dalam ruangan memperlihatkan hasil bahwa ada beberapa ruangan yang memiliki hasil pengukuran di bawah standard BPOM namun ada pula yang memiliki hasil pengukuran di atas standard spesifikasi dari BPOM.
5. Setelah dilakukan perhitungan beban pendinginan yang sesuai dengan standard ASHRAE, didapat nilai beban pendinginan sebesar 346.473 Btu/h sedangkan data unit lama menunjukkan kebutuhan beban pendinginan sebesar 397.700 Btu/h, terjadi penurunan sebesar 13%.
6. Dilakukan seleksi unit yang baru sehingga menghasilkan konsumsi daya listrik sebesar 104.900 Watt, sedangkan unit lama 127.900 Watt, terjadi penurunan konsumsi daya listrik sebesar 18%.

7. Perhitungan biaya konsumsi daya listrik perbulan dengan unit baru sebesar Rp.82.449.827 sedangkan unit lama sebesar Rp. 100.527.482, terjadi penurunan biaya konsumsi daya listrik sebesar 18%.
8. Berdasarkan perhitungan, nilai *Return On Investment* (ROI) sebesar 3,65% dan jangka waktu ROI selama 28 bulan.

Referensi

- [1] OJK. *Pembiayaan Efisiensi Energi di Industri untuk Lembaga Jasa Keuangan*. Jakarta, 2015.
- [2] International Organization for Standardization (ISO). *ISO/ DIS 14644-1 Cleanrooms and associated controlled environments. Part 1: Testing and Monitoring to prove continued compliance to ISO/ DIS 14644-1*. The Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST), 940 East Northwest Highway, Mount Prospect, Illinois 60056-3422, USA, 2000.
- [3] BPOM. *Petunjuk Operasional Penerapan Cara Pembuatan Obat Yang Baik*. Jakarta-Indonesia, 2006.
- [4] ASHRAE. *ASHRAE Handbook HVAC Applications*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, USA, 1995.