

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Perencanaan

4.1.1 Perhitungan *Power Budget*

Perhitungan ini menggunakan persamaan (3.1) dengan tambahan parameter jumlah konektor sebanyak 18 buah yang berasal dari jumlah client sebanyak 9 buah dengan masing-masing konektor di setiap *client* sebanyak 2 buah, serta jumlah sambungan pada jaringan ini sebanyak 27 buah. Maka *Power Budget* untuk masing-masing teknologi dapat dihitung sebagai berikut :

a. *Power budget* untuk sistem CWDM

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \\ &= 9 - (0,15 \times 18) - (0,5 \times 14,89) - (0,05 \times 27) - 9 \\ &= 9 - 2,7 - 7,445 - 1,35 - 9 \\ &= -11,495 \text{ dBm} \end{aligned}$$

b. *Power budget* untuk sistem DWDM

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \\ &= 9 - (0,3 \times 18) - (0,3 \times 14,89) - (0,05 \times 27) - 3 \\ &= 9 - 5,4 - 4,467 - 1,35 - 3 \\ &= -5,217 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Setelah perhitungan *power budget* di dapatkan maka selanjutnya menghitung apakah sistem dengan teknologi yang dipergunakan sudah mencukupi dalam jarak maksimal transmisi dengan tidak mempergunakan penguat. Untuk dapat menghitung jarak maksimal maka di pergunakan persamaan (3.2) sebagai berikut :

a. Jarak maksimal transmisi sistem CWDM

$$\begin{aligned} L_{sis} &= \frac{P_t - P_r - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \\ &= \frac{9 - (-30) - (0,15 \times 18) - (0,05 \times 27) - 9}{0,5} = \frac{25,95}{0,5} = 51,9 \text{ Km} \end{aligned}$$

b. Jarak maksimal transmisi sistem DWDM

$$L_{sis} = \frac{Pt - Pr - (\alpha c \times Nc) - (\alpha s \times Ns) - Ms}{\alpha f}$$
$$= \frac{9 - (-30) - (0,3 \times 18) - (0,05 \times 27) - 3}{0,3} = \frac{29,25}{0,3} = 97,5 \text{ Km}$$

4.1.2 Analisa Perhitungan *Power Budget*

Analisa power budget dilakukan sebagai jaminan bahwa daya yang diterima receiver masih berada di atas batas kemampuan dari receiver. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan daya yang sampai ke detektor optik sebesar -11,495 dBm untuk CWDM dan -5,217 dBm untuk DWDM masih lebih kecil dibandingkan kemampuan minimum avalanche photodiode sebesar -30 dBm. Maka dapat disimpulkan bahwa jaringan optik tersebut memenuhi kriteria power budget sehingga daya yang diterima oleh receiver tergolong baik.

Selanjutnya perhitungan jarak maksimal yang dapat dilakukan oleh jaringan optik tanpa menggunakan penguat. Berdasarkan parameter yang digunakan, jika jarak maksimal jaringan optik kurang dari jarak link perencanaan dibutuhkan penguat untuk memaksimalkannya.

- Jarak total link Universitas Mulawarman = 14,89 Km
- Jarak maksimal jaringan optik CWDM tanpa penguat = 51,9 Km
- Jarak maksimal jaringan optik DWDM tanpa penguat = 97,5 Km

Dari hasil penjabaran diatas, diketahui bahwa jaringan optik Universitas Mulawarman tersebut dapat di implementasikan dan tidak diperlukannya penguat (*optical amplifier*). Hasil dari perhitungan ini juga sejalan dengan perhitungan yang dilakukan oleh Yorasaki Martha Leza[10].

4.1.3 Perhitungan *Rise Time Budget*

Perhitungan ini menggunakan persamaan (3.5) maka *Rise Time* yang di dapatkan untuk sistem CWDM STM-4 (622 Mbps) dan DWDM STM-10 (10 Gbps) adalah :

$$t_{sis} = \frac{0,7}{BR} = \frac{0,7}{622 \times 10^6} = 1125 \text{ ps} , \text{ untuk sistem CWDM}$$

$$t_{sis} = \frac{0,7}{BR} = \frac{0,7}{10 \times 10^9} = 70 \text{ ps} , \text{ untuk sistem DWDM}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, maka nilai transmisi yang dapat di terima dengan baik adalah yang mrmiliki total transmisi tidak melebihi 1125 ps untuk sistem CWDM dan 70 ps untuk sistem DWDM dari format pengkodean NRZ.

Selanjutnya adalah menghitung nilai *Rise Time* yang sudah direncanakan pada setiap *link* dengan menggunakan persamaan (3,3) dan (3,4) untuk sistem CWDM :

a. Link Rektorat Unmul – FKIP Kampus II

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (3,2 \text{ km}) \\
 &= 11,2 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{sys} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 11,2^2} \\
 &= 781,105 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

b. Link FKIP Kampus II – Fak. Ilmu Budaya

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (2,5 \text{ km}) \\
 &= 8,75 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{sys} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 8,75^2} \\
 &= 781,074 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

Hasil lengkap dapat di lihat pada lampiran 1.

Setelah sistem CWDM di dapatkan , maka selanjutnya adalah menghitung nilai *Rise Time* yang sudah direncanakan pada setiap *link* dengan menggunakan persamaan (3,3) dan (3,4) untuk sistem DWDM :

a. Link Rektorat Unmul – FKIP Kampus II

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (3,2 \text{ km})
 \end{aligned}$$

$$= 1,12 \text{ ps}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{sys}} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 1,12^2} \\ &= 69,471 \text{ ps} \end{aligned}$$

b. Link FKIP Kampus II – Fak. Ilmu Budaya

$$\begin{aligned} t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (2,5 \text{ km}) \\ &= 0,875 \text{ ps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{sys}} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 0,875^2} \\ &= 69,467 \text{ ps} \end{aligned}$$

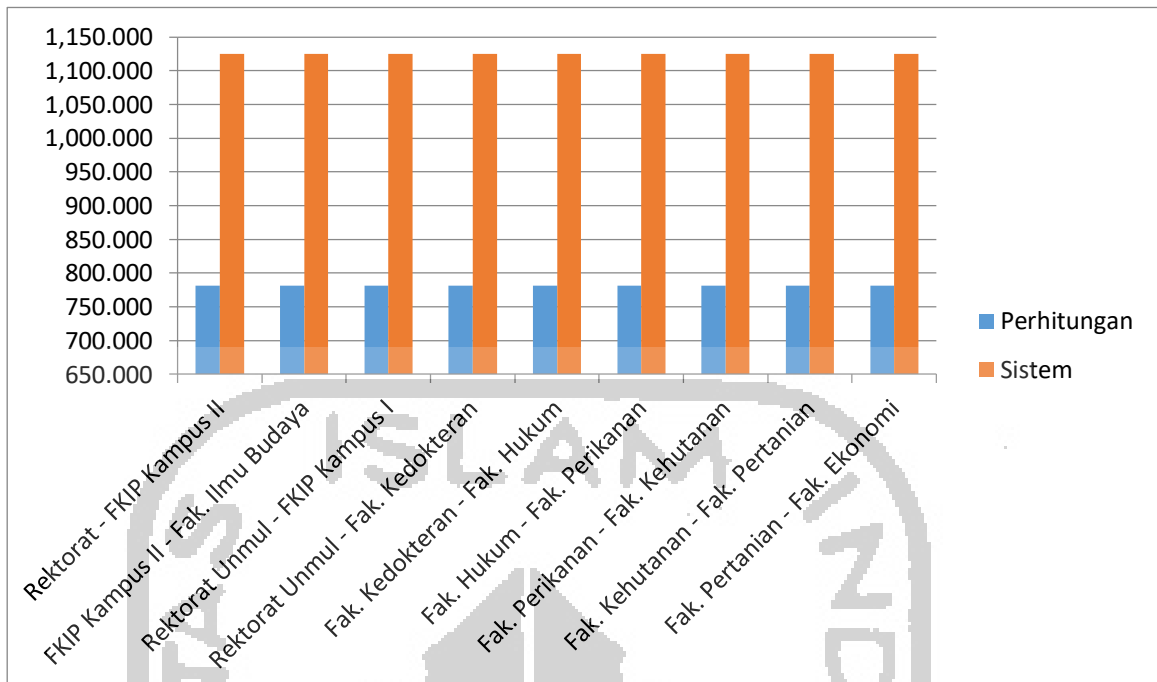
Hasil lengkap dapat di lihat pada lampiran 1.

4.1.4 Analisa Perhitungan *Rise Time Budget*

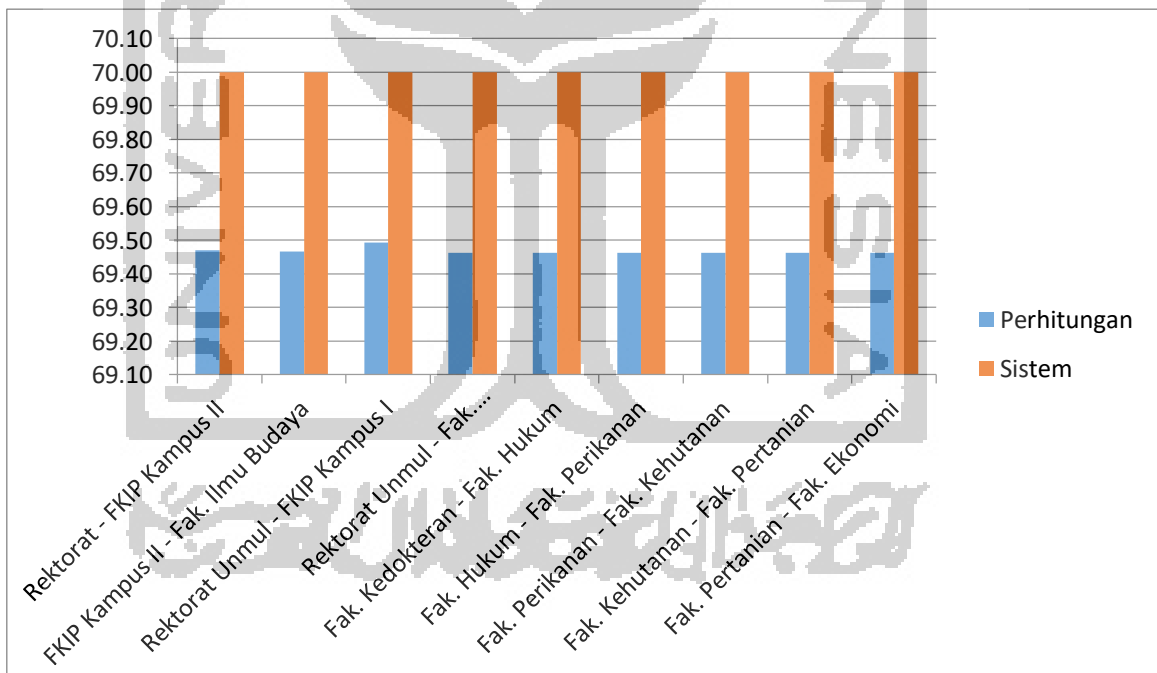
Analisa *power budget* dilakukan sebagai parameter apakah keseluruhan sistem sudah tercapai atau belum, dengan melihat kemampuan sistem menghadapi disperse pada jalur transmisi dan sinyal yang diterima detektor optik masih dapat diterima tanpa adanya distorsi yang akan mengganggu pembacaan sinyal.

Sesuai dengan hasil perhitungan sebelumnya maka nilai *rise time* jaringan optik Universitas Mulawarman sudah memenuhi kriteria untuk dapat di implementasikan, dikarenakan *rise time* jaringan optik masih dibawah batas maksimal sistem yang dipergunakan sebesar 1125 ps untuk sistem CWDM dan 70 ps untuk sistem DWDM. Hasil dari perhitungan ini juga sejalan dengan perhitungan yang dilakukan oleh Yorasaki Martha Leza[10].

Gambar 4.1 dan 4.2 di bawah ini merupakan grafik *rise time budget* jaringan optik Universitas Mulawarman :



Gambar 4.1 Grafik Rise Time Budget Sistem CWDM



Gambar 4.2 Grafik Rise Time Budget Sistem DWDM

4.2 Prediksi Kebutuhan *Bandwidth* Jaringan Optik Universitas Mulawarman Tahun 2019 Hingga 2023

4.2.1 Prediksi Jumlah Pelanggan

Berdasarkan Tabel 3.3 terlihat jumlah pelanggan yang bervariasi dan cenderung mengalami penurunan, melalui tabel 3.3 tersebut maka akan dilakukan penghitungan dengan metode least square yang terdapat pada persamaan (3.7) yang akan di buat kedalam tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Perhitungan Least Square Jumlah Pelanggan Hingga Tahun 2023

x	Y	x^2	Xy
1	40,871	1	40,871
2	37,862	4	75,724
3	38,324	9	114,972
4	37,951	16	151,804
5	35,729	25	178,645
Jumlah			
15	190,737	55	562,016

Dengan hasil tabel tersebut maka x dan y pada persamaan (3.7) adalah :

$$a = \frac{(190,737 \times 55) - (15 \times 562,016)}{5 \times 55 - (15)^2}$$

$$a = 41,206$$

$$b = \frac{5 \times 562,016 - (15 \times 190,737)}{5 \times 55 - (15)^2}$$

$$b = -1,019$$

Dengan hasil yang di dapat pada perhitungan tersebut, didapatkan persamaan *regresi liniear* jumlah pelanggan :

$$y = 112,006 + (-1,019)x \quad (4.1)$$

Prediksi jumlah pelanggan menggunakan persamaan (4.1) dengan memasukkan nilai $x = 6$ hingga $x = 10$ untuk memprediksi jumlah pelanggan tahun 2019 sampai dengan 2023.

$$y^1 = 41,206 + (-1,019)(6) = 35,092$$

$$y^2 = 41,206 + (-1,019)(7) = 34,073$$

$$y^3 = 41,206 + (-1,019)(8) = 33,053$$

$$y^4 = 41,206 + (-1,019)(9) = 32,035$$

$$y^5 = 41,206 + (-1,019)(10) = 31,016$$

Ringkasan untuk prediksi jumlah pelanggan tahun 2019 sampai dengan 2023 terdapat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Prediksi Jumlah Pelanggan Hingga Tahun 2023

Tahun	Jumlah Pelanggan (Orang)
2019	35,092
2020	34,073
2021	33,053
2022	32,035
2023	31,016

4.2.2 Prediksi Jumlah *Bandwidth*

Berdasarkan Tabel 3.3 dan 3.4 terlihat jumlah pelanggan yang bervariasi dan cenderung mengalami penurunan namun *bandwidth* mengalami peningkatan, melalui tabel 3.3 dan 3.4 tersebut maka akan dilakukan penghitungan dengan metode *least square* yang terdapat pada persamaan (3.7) yang akan di buat kedalam tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Perhitungan Least Square Bandwidth Hingga Tahun 2023

No	x	Y	x^2	Xy
1	40,871	984	1670,43	40217,06
2	37,862	3200	1433,53	121158,4
3	38,324	8000	1468,72	306592
4	37,951	8000	1440,27	303608
5	35,729	10400	1276,56	371581,6
Jumlah	190,737	30584	7289,51	1143157,064

Dengan hasil tabel tersebut maka x dan y pada persamaan (3.7) adalah :

$$a = \frac{(30584 \times 7289,51) - (190,737 \times 1143157,06)}{5 \times 7289,51 - (190,737)^2}$$

$$a = 73192$$

$$b = \frac{5 \times 1143157,06 - (190,737 \times 30584)}{5 \times 7289,51 - (190,737)^2}$$

$$b = -1758$$

Dengan hasil yang di dapat pada perhitungan tersebut, didapatkan persamaan regresi linier jumlah pelanggan :

$$y = 73192 + (-1758)x \quad (4.2)$$

Prediksi jumlah bandwidth menggunakan persamaan (4.2) dengan memasukkan nilai x adalah jumlah prediksi pelanggan pada tabel 4.2 untuk memprediksi jumlah *bandwidth* tahun 2019 sampai dengan 2023.

$$y^1 = 73192 + (-1758)(35,092) = 11.501$$

$$y^2 = 73192 + (-1758)(34,073) = 13.292$$

$$y^3 = 73192 + (-1758)(33,053) = 15.085$$

$$y^4 = 73192 + (-1758)(32,035) = 16.875$$

$$y^5 = 73192 + (-1758)(31,016) = 18.666$$

Ringkasan untuk prediksi jumlah pelanggan tahun 2019 sampai dengan 2023 terdapat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Prediksi Jumlah Bandwidth Hingga Tahun 2023

Tahun	Jumlah Bandwidth (Mbps)
2019	11.501
2020	13.292
2021	15.085
2022	16.875
2023	18.666

4.2.3 Analisa Hasil Prediksi Kebeutuhan *Bandwidth*

Apabila melihat hasil prediksi pada tabel di atas, maka kebutuhan *bandwidth* terbesar terdapat pada tahun 2019 dengan kebutuhan 18.666 Mbps. Untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut dibutuhkan :

a. DWDM

Sistem DWDM menggunakan perangkat STM-64 dengan kemampuan menyediakan *bandwidth* sebesar 10 Gbps dalam satu buah perangkat. Untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 2 buah perangkat yang akan menghasilkan 20 Gbps dengan jumlah keseluruhan untuk jaringan Universitas Mulawarman sebanyak 4 buah modul serta 4 *core* optik yang dibagi 2 *core* untuk *transmitter* dan 2 *core* untuk *receiver*. Untuk jumlah *core* yang akan ditanam pada jaringan optik Universitas Mulawarman sebanyak 12 *core* sehingga terdapat sisa *core* sebanyak 8 *core* yang akan memenuhi kebutuhan kanal *bandwidth* di masa depan.

b. CWDM

Sistem DWDM menggunakan perangkat STM-4 dengan kemampuan menyediakan *bandwidth* sebesar 622 Mbps dalam satu buah perangkat. Untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 32 buah perangkat yang akan menghasilkan 19.904 Mbps dengan jumlah keseluruhan untuk jaringan Universitas Mulawarman sebanyak 64 buah modul serta 64 *core* optik yang dibagi 32 *core* untuk *transmitter* dan 32 *core* untuk *receiver*. Untuk jumlah *core* yang akan ditanam pada jaringan optik Universitas Mulawarman sebanyak 36 *core*

sehingga terdapat sisa core sebanyak 4 *core* yang akan memenuhi kebutuhan kanal *bandwidth* di masa depan.

Berdasarkan penjabaran untuk masing-masing sistem maka dapat disimpulkan bahwa sistem DWDM dapat diimplementasikan dengan jumlah perangkat yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem CWDM sehingga sistem DWDM lebih efisien dibandingkan CWDM. Namun sistem CWDM juga masih mampu untuk memenuhi kebutuhan *bandwidth* Universitas Mulawarman dengan konsekuensi jumlah perangkat serta kemampuan memenuhi kebutuhan *bandwidth* yang relative lebih kecil.

4.3 Analisis Ekonomi

4.3.1 Capital Expenditure (Capex) Sistem DWDM

Tabel 4.5 Capex Sistem DWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 8 core G 652 D	meter	8.660/m	14.890 m	128.947.400
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/ lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	966.510 /pcs	2 pcs	1.933.020
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk spliter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah), berikut pelabelan	pcs	12.819.947 /pcs	9 pcs	115.379.523
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	2.480.880/p cs	9 pcs	22.327.920

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	12.045/m	15.000 m	180.675.000
6	Pengadaan perangkat DWDM	pcs	13.920.000/ pcs	2	27.840.000
TOTAL (Rp) : 477.102.843					

4.3.2 Operating Expenditure (Opex) Sistem DWDM

Tabel 4.6 Opex Sistem DWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 8 core G 652 D	meter	2.700/m	14.890 m	40.203.000
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/ lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	30.726 /pcs	2 pcs	61.452
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk spliter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah), berikut pelabelan	pcs	5.073.962/ pcs	9 pcs	45.665.658
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	425.430/pcs	9 pcs	3.828.870

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	1.407/m	14.890 m	20.950.230
6	Pekerjaan Galian, Pengurugan kembali dan perbaikan kembali, pengisian pasir, warning tape dan tanda rute kabel serta tempat sambung kedalaman 1,5 meter	meter	33.313/m	14.890 m	469.030.570
TOTAL (Rp) : 579.739.780					

4.3.3 Capital Expenditure (Capex) Sistem CWDM

Tabel 4.7 Capex Sistem CWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 36 core G 652 D	meter	17.640/m	14.890 m	262.659.600
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/ lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	966.510 /pcs	2 pcs	1.933.020
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk splitter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah)	pcs	12.819.947 /pcs	9 pcs	115.379.523

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	2.480.880/p cs	9 pcs	22.327.920
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	12.045/m	15.000 m	180.675.000
6	Pengadaan perangkat CWDM	pcs	4.176.000/p cs	32 pcs	133.632.000
TOTAL (Rp) : 716.587.043					

4.3.4 Operating Expenditure (Opex) Sistem CWDM

Tabel 4.8 Opex Sistem CWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 36 core G 652 D	meter	2.700/m	14.890 m	40.203.000
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/ lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	30.726 /pcs	2 pcs	61.452
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk splitter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah), berikut pelabelan	pcs	5.073.962/p cs	9 pcs	45.665.658

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	425.430/pcs	9 pcs	3.828.870
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	1.407/m	14.890 m	20.950.230
6	Pekerjaan Galian, Pengurugan kembali dan perbaikan kembali, pengisian pasir, warning tape dan tanda rute kabel serta tempat sambung kedalaman 1,5 meter	meter	33.313/m	14.890 m	469.030.570
TOTAL (Rp) : 579.739.780					

4.3.5 Analisa Hasil Capex dan Opex

Apabila melihat hasil prediksi pada tabel di atas, maka kebutuhan biaya untuk dapat memenuhi kebutuhan *bandwidth*, maka :

a. DWDM

Sistem DWDM untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 2 buah perangkat dimana membutuhkan biaya sebesar Rp 27.840.000,00.

b. CWDM

Sistem CWDM untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 32 buah perangkat dimana membutuhkan biaya sebesar Rp 133.632.000,00.

Berdasarkan penjabaran untuk masing-masing sistem maka dapat disimpulkan bahwa sistem DWDM dapat diimplementasikan dengan biaya yang lebih sedikit dikarenakan jumlah perangkat yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem CWDM sehingga sistem DWDM lebih efisien dibandingkan CWDM.