

Studi Eksperimental Pendingin Pasif Lampu *Light Emitting Diode* Menggunakan *Heatsink* Konvensional

Nurrohman^{1,*}, Gatot Eka Pramono¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun

Jalan KH. Sholeh Iskandar Km. 2, Bogor, 16162, Indonesia

*nurrohman14@gmail.com

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir, lampu *light emitting diodes* (LED) dianggap berperan penting dalam industri penerangan. Hal ini dikarenakan potensinya dalam menghasilkan bukan hanya cahaya tetapi juga lingkungan yang baik dengan konsumsi daya rendah. Dibandingkan dengan sumber cahaya tradisional, lampu LED mempunyai umur yang panjang, ketahanan uji yang baik dan efisiensi yang tinggi. LED menghasilkan energi cahaya dengan menggunakan 20 sampai 30% energi listrik dan mengubah sisanya 70 sampai 80% menjadi panas. Panas yang dihasilkan menaikkan temperatur *junction* LED. Temperatur *junction* yang tinggi akan membuat berkurangnya efisiensi optik dan umur fosfor. Sehingga upaya untuk mengurangi temperatur *junction* sangat perlu dilakukan untuk menghindari efek-efek tersebut. Penelitian ini adalah penelitian fundamental yang bertujuan untuk mempelajari karakteristik lampu LED dengan sistem pendingin pasif menggunakan *heatsink* konvensional. Dari hasil eksperimen didapatkan semakin tinggi daya masukan, nilai temperatur *junction* semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat dari nilai temperatur relatif *thermal pad*. Semakin besar daya masukan, lux yang dihasilkan semakin tinggi, tetapi performa LED semakin menurun. Luas area *heatsink* mempunyai pengaruh signifikan terhadap panas yang dilepaskan. Selain itu, geometri *heatsink* juga sangat berpengaruh.

Kata kunci: pendingin pasif, *heatsink*, LED, *passive cooling*, XHP50

Pendahuluan

Sistem penerangan adalah sumber utama konsumsi listrik dunia. Sekitar 20% listrik yang dikonsumsi di dunia adalah untuk penerangan tempat tinggal dan tempat-tempat umum [1]. Dalam beberapa tahun terakhir, lampu *light emitting diodes* (LED) dianggap berperan penting dalam industri penerangan. Hal ini dikarenakan potensinya dalam menghasilkan bukan hanya cahaya tetapi juga lingkungan yang baik dengan konsumsi daya rendah [2]. Dibandingkan dengan sumber cahaya tradisional, lampu LED mempunyai umur yang panjang, ketahanan uji yang baik dan efisiensi yang tinggi. Dengan karakter “*energy saving, low-carbon economy*”, LED menjadi *trend* saat ini sebagai lampu generasi keempat dan telah digunakan dalam banyak aplikasi [3]. LED menghabiskan 50% energi dibandingkan

dengan lampu *fluorescent* atau lampu neon [4].

LED adalah dioda semikonduktor. Akan tetapi, LED berbeda dengan dioda biasa karena dimanufaktur untuk aplikasi penerangan. LED mengubah energi listrik menjadi cahaya [5,6]. LED menghasilkan energi cahaya dengan menggunakan 20 sampai 30% energi listrik dan mengubah sisanya 70 sampai 80% menjadi panas. Panas yang dihasilkan menaikkan temperatur *junction* LED [7]. Temperatur *junction* yang tinggi akan membuat berkurangnya efisiensi optik dan umur fosfor [8]. Sehingga upaya untuk mengurangi temperatur *junction* sangat perlu dilakukan untuk menghindari efek-efek tersebut.

Studi tentang pendingin LED telah dilakukan peneliti-peneliti di dunia. Diantaranya oleh Lu et al. [5] yang

menggunakan *heat pipe* yang berhasil menurunkan temperatur *junction* sampai 52°C. Cheng et. al [9] menggunakan metode elemen hingga untuk memprediksi penyebaran panas dan temperatur *junction* pada LED berdaya tinggi dan menemukan bahwa dengan menggunakan *fan* pada sisi dinding *heatsink* dapat menaikkan koefisien perpindahan panas konvektif untuk menurunkan temperatur *junction*. Wang et al. [10] menggunakan pendingin termoelektrik dan kipas untuk lampu LED pada aplikasi otomotif untuk mengoptimalkan performa LED. Studi perbandingan antara jet-mikro dan alat pendingin cairan kanal-mini dilakukan oleh Bladimir et al. [11]. Yan et al. [12] membuat pendingin aktif menggunakan *heatsink* dengan pelat pendingin cairan untuk menyebarkan panas.

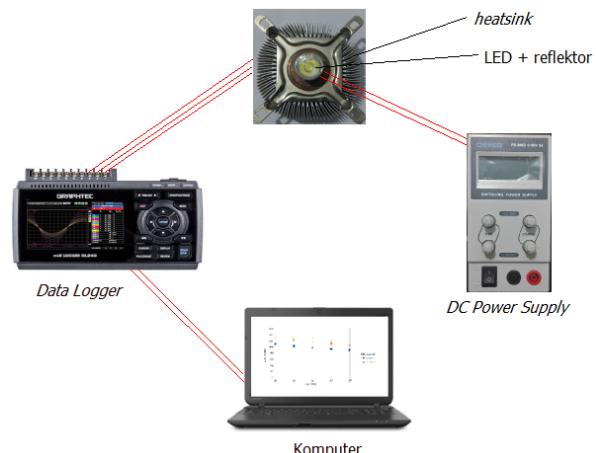
Dilihat dari sisi efek pendinginan, metode-metode di atas dapat menurunkan temperatur *junction*. Akan tetapi, metode-metode di atas memiliki kekurangan seperti kerumitan, energi yang terbuang dan harga yang mahal. Dari metode yang ada, pendingin pasif masih menjadi pilihan karena kebisingannya rendah, ketahanannya tinggi dan harganya murah [13]. Penelitian ini adalah penelitian fundamental yang bertujuan untuk mempelajari karakteristik lampu LED dengan sistem pendingin pasif menggunakan *heatsink* konvensional. Studi tentang karakteristik termal lampu LED sangat dibutuhkan untuk merancang pendingin pasif yang mampu membuat performa LED optimal.

Metodologi

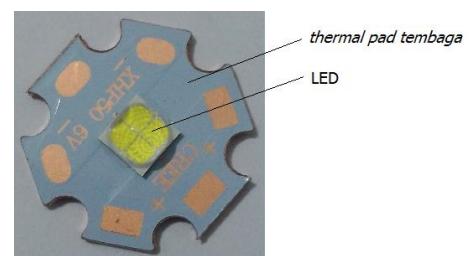
Susunan peralatan ditunjukkan Gambar 1. Peralatan terdiri dari *data logger* GL240 (10 channel) dengan termokopel tipe K, DC *Power Supply* dengan jangkauan tegangan 0-30 V dan arus 5 A, dan sebuah komputer untuk mengolah data.

Lampu LED yang dipakai adalah satu buah lampu LED Cree XHP50 yang

ditunjukkan Gambar 2 memiliki karakteristik seperti ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Susunan peralatan eksperimen



Gambar 2. LED Cree XHP50 dengan thermal pad tembaga

Tabel 1. Karakteristik LED Cree XHP50 yang dipakai [14]

No.	Parameter	Nilai
1	Ukuran	5 mm x 5 mm
2	Arus maksimum	3 A
3	Daya maksimum	19 W
4	Flux maksimum	2546 lumen
5	Flux pada temperatur junction 25°C	1284 lumen
6	Flux pada temperatur junction 85°C	1120 lumen
7	Tegangan maju (forward voltage)	5,75 V

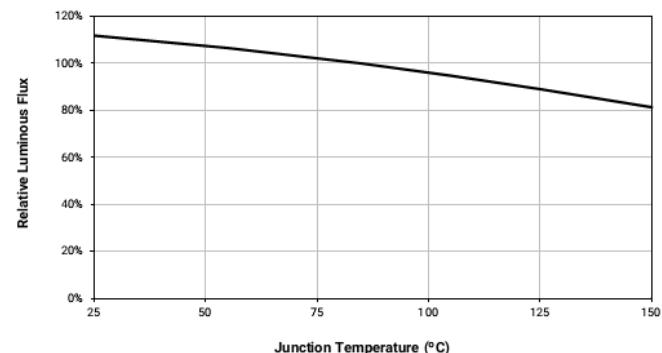
8	Temperatur <i>junction</i>	150°C maksimum
9	Grup XHP50	J4
10	Nominal CCT	6000K

Alasan pemakaian lampu LED Cree XHP50 adalah karena kelebihannya dibandingkan lampu LED generasi sebelumnya, yaitu lampu LED Cree XM-L. Lampu LED Cree XM-L telah populer digunakan karena memiliki *form factor* rendah yang memberikan kemudahan dalam perancangan. XM-L populer untuk banyak aplikasi khususnya dalam bidang otomotif dan untuk senter. LED XM-L sering dioperasikan pada tegangan maksimum, 3,7 V, untuk mendapatkan lumen maksimal karena *rating* dayanya rendah. Selain itu, dibutuhkan arus yang relatif tinggi. Jika LED XM-L dioperasikan di tegangan maksimum mengakibatkan cepat putus. Pada aplikasi otomotif, untuk mendapatkan tegangan tersebut harus diturunkan dari tegangan aki sebesar 12 V. Hal ini membuat banyak kehilangan energi listrik. Pada aplikasi yang sama, lampu XM-L sering dipasang dua buah secara paralel untuk mendapatkan lumen yang diperlukan. Kehadiran XHP50 merupakan solusi dari kekurangan lampu XM-L. Sama seperti LED XM-L, XHP50 memiliki *form factor* yang rendah sehingga dapat menggunakan reflektor yang sama dengan lampu XM-L yang telah ada. XHP50 diproduksi dengan dua pilihan yaitu 6 V dan 12 V. Untuk menurunkan dari tegangan aki 12 V ke 6 V energi listrik tidak banyak terbuang seperti pada lampu XM-L. Selain itu, XHP50 memiliki lumen dua kali lipat lebih besar daripada lampu XM-L. Sehingga satu buah lampu LED XHP50 dapat menggantikan dua lampu XM-L yang biasanya dipasang secara paralel.

Performa LED akan turun seiring dengan naiknya temperatur *junction*. Gambar 3 menunjukkan pengaruh

temperatur *junction* terhadap nilai flux lumin relatif LED XHP50 [14].

Pendingin yang dipakai adalah *heatsink* seperti ditunjukkan Gambar 4. *Heatsink* yang digunakan adalah *heatsink* yang biasa dipakai untuk mendinginkan prosesor komputer. Oleh karena itu, *heatsink* tidak dibuat atau dirancang sendiri, tetapi dapat diperoleh di



Gambar 3. Pengaruh temperatur *junction* terhadap performa LED



Gambar 4. *Heatsink* yang dipakai

toko-toko aksesoris komputer. Luas area *heatsink* adalah sekitar 836 cm², 1170 cm², dan 890,4 cm² berturut-turut untuk *heatsink* 1, 2 dan 3.

LED dipasang di atas *heatsink* dengan menghadap ke atas dengan material *thermal interface* yang memiliki nilai

konduktifitas kurang dari $1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Pada jarak sekitar 90 cm di atas LED, dipasang alat pengukur lux untuk mengetahui performa LED. Eksperimen dilakukan di ruangan yang relatif gelap dimana alat pengukur lux menunjukkan nilai nol.

Akan dibandingkan pengaruh daya masukan terhadap performa LED, temperatur *thermal pad* dan temperatur *heatsink (case)*. Daya masukan adalah sebesar 11, 13, 15, 17 dan 19 W. 19 W adalah daya maksimal LED XHP50. Daya diatur dengan mengubah nilai arus dan tegangan. Nilai arus dan tegangan dimonitor agar daya yang diinginkan tercapai. *Data logger* harus dinyalakan selama 30 menit sebelum pengambilan data. Untuk setiap satu variasi nilai daya masukan dipakai waktu selama satu jam agar temperatur *thermal pad*, dan *heatsink* relatif konstan. Dalam keadaan ini bisa dianggap *steady*. Setelah keadaan *steady* tercapai data lux, temperatur *thermal pad*, temperatur *heatsink* dan temperatur lingkungan dicatat. Data diolah menggunakan program pengolah data pada komputer.

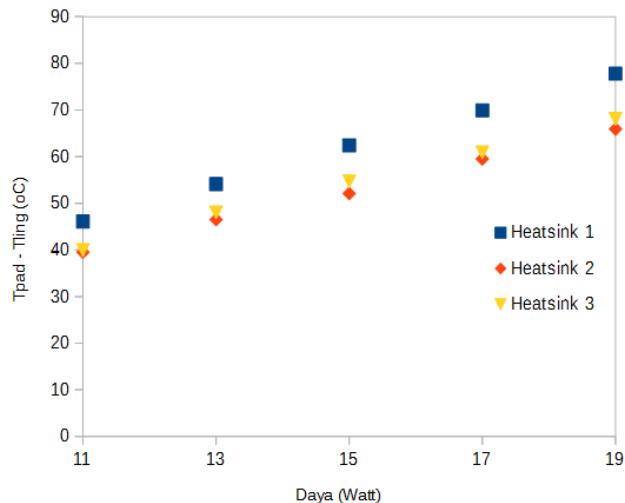
Hasil dan Pembahasan

Panas akan dialirkan secara konduksi dari LED *chip* ke *thermal pad*. Dari *thermal pad* panas dikonduksikan ke *TIM (thermal interface material)*, lalu konduksi berakhir di *heatsink*. Panas lalu berpindah dari *heatsink* ke udara sekitar secara konveksi. Konveksi alami memiliki peranan utama dalam perpindahan panas pendingin pasif, yaitu dari *heatsink* ke lingkungan, dibandingkan konduksi dan radiasi. Radiasi tidak berperan secara signifikan sehingga dapat diabaikan. Jika konveksi alami berperan paling signifikan maka luas area *heatsink* akan sangat menentukan nilai temperatur *thermal pad*. Hal ini berkaitan dengan persamaan konveksi pada persamaan (1) berikut ini.

$$Q_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Dimana Q_{conv} , h , A dan ΔT adalah jumlah panas yang dipindahkan melalui konveksi (W), koefisien perpindahan panas ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$), luas area permukaan benda padat (m^2), perbedaan temperatur antara *heatsink* dan udara sekitar ($^{\circ}\text{C}$).

Pengaruh Daya Masukan terhadap Temperatur *Thermal Pad* dan Temperatur *Heatsink*. Gambar 5 menunjukkan grafik pengaruh daya masukan terhadap temperatur



Gambar 5. Grafik pengaruh daya masukan terhadap temperatur *thermal pad*

thermal pad. Karena keadaan temperatur lingkungan berbeda sehingga nilai temperatur *thermal pad* dikurangi temperatur lingkungan yang sesuai. Dari sini nilai temperatur adalah nilai relatif terhadap lingkungan. Dari grafik didapatkan temperatur relatif *thermal pad* paling tinggi adalah *heatsink 1* untuk setiap nilai daya masukan. Nilai temperatur relatif *thermal pad* yang lebih rendah adalah untuk *heatsink 3* lalu *heatsink 2*. Hal ini bisa jadi karena luas permukaan *heatsink 2* lebih besar daripada *heatsink 3* dan luas permukaan *heatsink 3* lebih besar daripada *heatsink 1*. Hal ini sesuai dengan persamaan (1) dimana nilai panas yang dilepaskan dengan konveksi alami akan semakin besar seiring bertambahnya luas perpindahan panas.

Dari grafik juga didapatkan bahwa semakin tinggi nilai daya masukan semakin tinggi temperatur relatif *thermal pad*. Hal ini menunjukkan semakin besar daya masukan, semakin besar panas yang dihasilkan.

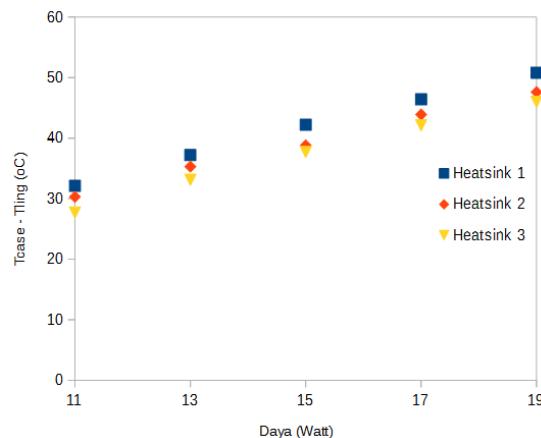
Gambar 6 menunjukkan grafik pengaruh daya masukan terhadap temperatur relatif *heatsink*. Dari grafik didapatkan temperatur relatif *heatsink* paling tinggi adalah *heatsink* 1 untuk setiap nilai daya masukan. Temperatur relatif *heatsink* 2 menunjukkan nilai lebih rendah daripada *heatsink* 1 karena dengan bentuk yang relatif sama memiliki luas area yang lebih besar. Temperatur *heatsink* 3 menunjukkan nilai lebih rendah daripada *heatsink* 2 meski luas areanya lebih rendah. Hal ini bisa jadi karena konfigurasi fin-fin-nya menyebabkan perpindahan panas yang lebih efektif. Konfigurasi fin-fin pada *heatsink* 2 bisa jadi menyebabkan nilai koefisien perpindahan panas meningkat. Sesuai persamaan (1), hal ini akan menaikkan nilai panas yang dilepaskan *heatsink* ke lingkungan.

Pengaruh Daya Masukan terhadap lux LED. Nilai lux adalah nilai yang biasa dipakai untuk menentukan kebutuhan pencahayaan. Nilai lux merupakan rasio antara lumen dengan luas area. Gambar 7 menunjukkan pengaruh daya masukan terhadap lux LED. Dari grafik didapatkan bahwa nilai lux paling tinggi adalah untuk *heatsink* 3. Nilai yang lebih rendah selanjutnya adalah *heatsink* 2 dan *heatsink* 1. Hal ini tentu menarik meski nilai temperatur relatif *thermal pad* menggunakan *heatsink* 3 lebih tinggi daripada *heatsink* 2. Dari grafik didapatkan semakin besar daya masukan semakin besar pula nilai lux-nya.

Pengaruh Daya Masukan terhadap Performa LED. Untuk menentukan performa, nilai lux dibagi dengan jumlah daya masukan. Gambar 8 menunjukkan nilai lux per watt untuk masing-masing nilai daya masukan. Dari grafik terlihat nilai performa paling tinggi adalah pada

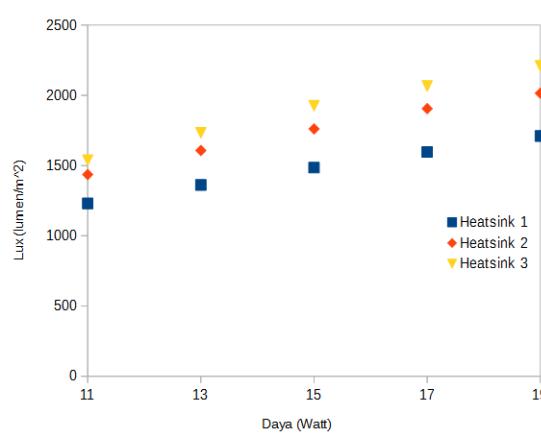
nilai daya masukan terendah, yaitu 11 W, dengan nilai performa paling tinggi adalah menggunakan *heatsink* 3.

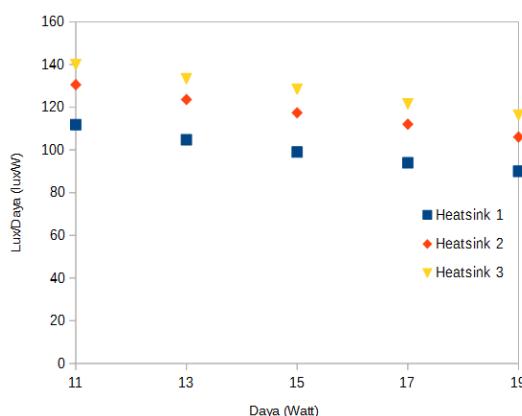
Hal ini bisa jadi karena temperatur *junction* LED lebih rendah dibandingkan jika pada nilai daya masukan lebih besar. Pada pembahasan sebelumnya didapat bahwa nilai temperatur relatif *thermal pad* semakin tinggi dengan naiknya daya masukan. Hal ini menunjukkan nilai temperatur *junction* semakin tinggi. Pada pembahasan ini nilai lux per watt LED semakin rendah seiring dengan naiknya daya masukan. Hal ini menunjukkan bahwa nilai performa LED akan menurun seiring



dengan naiknya temperatur *junction*.

Gambar 6. Grafik pengaruh daya masukan terhadap temperatur *heatsink*
Gambar 7. Grafik pengaruh daya masukan terhadap nilai lux





Gambar 8. Grafik pengaruh daya masukan terhadap performa LED

Kesimpulan

Dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin tinggi daya masukan, nilai temperatur *junction* semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat dari nilai temperatur relatif *thermal pad*. Semakin besar daya masukan, lux yang dihasilkan semakin tinggi, tetapi performa LED semakin menurun. Luas area *heatsink* mempunyai pengaruh signifikan terhadap panas yang dilepaskan. Selain itu, geometri *heatsink* juga sangat berpengaruh terhadap panas yang dilepaskan.

Referensi

- [1] W. Paul, T. Tanishima, Light's labour's lost - policies for energy-efficient lighting, International Energy Agency, Paris, 2006
- [2] V. A. F. Costa and A. M. G. Lopes, Improved radial heat sink for led lamp cooling, Applied Thermal Engineering, (2014)
- [3] X. J. Zhao, Y. X Cai, J. Wang, X. Li, and C. Zhang, Thermal model design and analysis of the high-power LED automotive headlight cooling device, Appl. Therm. Eng., 75 (2015) 248-258
- [4] J. Byun, I. Hong, B. Lee, S. Park, Intelligent household LED lighting system considering energy efficiency and user satisfaction", IEEE Transactions on Consumer Electronics, 59 (2013) 70-76
- [5] X. Lu, T. Hua, and Y. Wang, Thermal analysis of high power LED package with heat pipe heat sink, Microelectronics Journal, 42 (2011) 1257-1262
- [6] J. Sim, K. Ashok, Y. Ra, H. Im, B. Baek, and C. Lee, Characteristic enhancement of white LED lamp using low temperature co-fired ceramic-chip on board package, Current Applied Physics, 12 (2012) 494-498
- [7] Q. Shen, D. Sun, Y. Xu, T. Jin, X. Zhao, Orientation effects on natural convection heat dissipation of rectangular fin heat sinks mounted on LEDs, International Journal of Heat and Mass Transfer, 75 (2014) 462-469.
- [8] M. Arik, J. Petroski, S. Weaver, Thermal challenges in the future generation solid state lighting applications: light emitting diodes [J], in: Proceedings of the IEEE Intersociety Conference on Thermal Phenomena Hawaii, (2002) 113-120
- [9] H. H. Cheng, D.-S. Huang, M.-T. Lin, Heat dissipation design and analysis of high power LED array using the finite element method, Microelectronics Reliability, 52 (2012) 905-911
- [10] J. Wang, X. J. Zhao, Y. X. Cai, C.Z.Zhang, W. W. Bao, 2015, "Experimental study on the thermal management of high-power LED headlight cooling device integrated with thermoelectric cooler package, Energy Conversion and Management, 101 (2015) 364-371.
- [11] R. A. Bladimir, B. Feng, G. P. Peterson, Comparison and optimization of single-phase liquid cooling devices for the heat dissipation of high-power LED arrays, Appl. Therm. Eng., 59 (2013) 648-659
- [12] Y. Lai, N. Cordero, F. Barthel, F. Tebbe, J. Kuhn et al., Liquid cooling of

bright LEDs for automotive applications, Appl. Therm. Eng. 29 (2009) 1239-1244

[13] T.T. Xu, Y.T. Wu, C.F. Ma, Simulation study on thermal performance offin heat sink in different environments, Chin. J. Electron Devices, 32 (2009) 850-854

[14] Informasi pada
<http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/LED-Components-and-Modules/XLamp/Data-and-Binning/ds-XHP50.pdf> (diakses tanggal 3-2-2016)

[15] Informasi pada

<http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/Xlamp/Xlamp%20Application%20Notes/XlampThermalManagement.pdf> (diakses tanggal 6-2-2016)