

Model Antrian Pengangkutan Slag dengan Pendekatan Matematis: Studi Kasus pada PT. Inco Sorowako

Muhammad Rusman[†]

Abstrak

Pengangkutan slag merupakan bagian penting dari sistem produksi nickel pada PT. Inco Sorowako dengan menggunakan kendaraan khusus yaitu Haulmaster. Kendaraan ini secara terus-menerus mengangkut slag yang dihasilkan oleh furnace kemudian dibuang ke dalam slag damp. Dalam pengangkutan slag terjadi antrian dengan model antrian tunggal dengan pelayanan ganda (M/M/C, FCFS). Pada penelitian ini dilakukan pengamatan selama 20 hari dimulai pada pukul 07.00 – 15.00, sesuai dengan jadwal shift yaitu pada steady day shift. Pengamatan dilakukan untuk mendapatkan lamanya pelayanan atau pengisian pot Haulmaster, dan laju kedatangan Haulmaster ke area pengangkutan slag. Tujuan penelitian ini untuk menentukan jumlah Haulmaster yang optimum dapat digunakan. Dari hasil penelitian ini didapatkan rata-rata distribusi kedatangan 14 Haulmaster/jam, sedangkan rata-rata lamanya waktu pelayanan atau pengisian pot 6 Haulmaster/jam. Jumlah produksi 488 ton slag/jam yang dihasilkan oleh empat furnace, dibutuhkan minimum 10 unit Haulmaster dan maksimum 23 unit Haulmaster per jam untuk mengangkut slag. Dengan mengoptimalkan penggunaan 10 unit Haulmaster dapat mengurangi biaya operasional perusahaan.

Kata Kunci: *Haulmaster, Slag.*

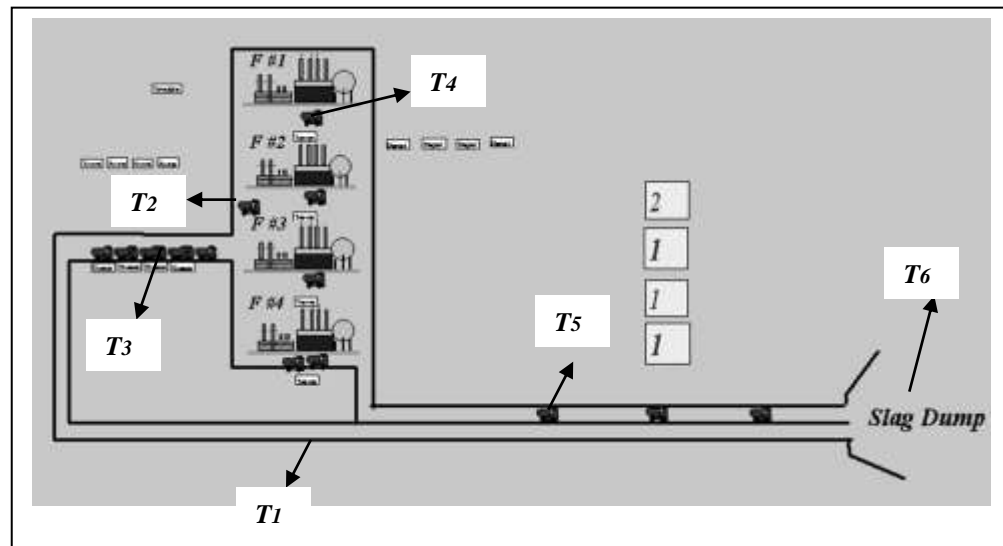
1. Pendahuluan

Proses produksi Nickel yang dilakukan oleh PT. Inco Indonesia Tbk adalah proses reduksi yang terjadi dalam *furnace*, yaitu *calcine* dari Kiln akan dilebur menjadi *nickel matte* yang berlangsung secara terus menerus selama 24 jam. Ada empat *furnace* yang beroperasi untuk melebur *calcine* dari lima kiln yang menyuplainya yaitu *furnace#1*, *furnace#2*, *furnace#3* dan *furnace#4* dengan kapasitas produksi rata – rata 168 juta pon/ tahun. Ada dua cairan panas yang dihasilkan oleh *furnace* yaitu cairan *nickel matte* dan cairan slag, dimana cairan *nickel matte* akan dikeluarkan (*tapping*) dan dimasukkan dalam *ladle* untuk kemudian dipindahkan kedalam converter untuk dimurnikan, sementara cairan slag akan dikeluarkan (*skimming*) dan ditampung didalam pot untuk kemudian diangkat dan dibuang ke *slag dump* dengan kendaraan khusus yaitu Haulmaster dan proses ini berlangsung terus menerus.

Penelitian ini difokuskan pada pengangkutan cairan slag yang merupakan hasil produksi furnace dengan kapasitas sekitar 487 ton per jam yang harus segera diangkat ke *slag dump* sebelum membeku dalam pot. Proses pengangkutan ini kendaraan Haulmaster mengalami antrian untuk mengangkut slag dari masing masing *furnace*. Untuk menganalisa sistem pengangkutan slag ini, dilakukan pengujian dengan pendekatan metode model antrian yaitu *Model Multi Channel Queuing Theory M/M/C* atau yang lebih dikenal dengan model antrian tunggal dengan pelayanan ganda.

[†] Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar, email: muh_rusman@yahoo.com

Cairan slag panas akan segera membeku setelah dikeluarkan dari dalam *furnace* maka pembuangan harus segera dilakukan sebelum membeku dalam pot. Haulmaster silih berganti mengangkut slag yang dihasilkan dari masing masing *furnace*#1, *furnace*#2, *furnace*#3, dan *furnace*#4 selama 24 jam . Terdapat enam waktu kegiatan yang dilakukan dan dilalui kendaraan ini secara bergantian dalam siklus operasinya yaitu, T_1 (HM + *Empty Pot*), T_2 (*Put Down Pot = Pot Std by*), T_3 (HM tanpa Pot atau disini terjadi antrian), T_4 (*Pick Up Pot*), T_5 (HM + *Pot Slag Full*), T_6 (*Slag Dump /Dumping Pot*), seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pengangkutan slag.

Pada T_3 terjadi antrian dimana *Haulmaster* menunggu pot yang terisi sampai penuh pada setiap *furnace*, kemudian dilakukan analisa dengan pendekatan model antrian yang sesuai. Tujuan utama penelitian ini adalah pertama untuk mengetahui keseimbangan antara volume slag yang diproduksi oleh masing-masing *furnace* dengan jumlah unit *Haulmaster* yang dapat mengangkut. Kedua untuk mengetahui biaya optimum operasional sesuai dengan jumlah unit *Haulmaster* yang dioperasikan. Perhitungan hanya pada jumlah *Haulmaster* dalam antrian (Lq), jumlah *Haulmaster* dalam sistem (Ls), waktu menunggu dalam antrian (Wq) dan waktu menunggu pengangkutan slag dalam sistim (Ws), dengan analitis matematis dan *software TORA*.

2. Metode Penelitian

Data dikumpulkan berdasarkan aktifitas *Haulmaster* antara lain tingkat kedatangan, waktu pelayanan atau waktu pengisian pot pada *furnace* dan jumlah *server/ furnace* yang dapat melayani dan sistem pelayanan pada saat ini. Kemudian dilakukan pengolahan untuk mengetahui keseimbangan antara jumlah atau volume slag yang dihasilkan oleh *furnace*#1, *furnace*#2, *furnace*#3 dan *furnace*#4 dengan jumlah kendaraan *Haulmaster* yang dapat mengangkut slag ke *slag dump*. Selanjutnya dilakukan analisa untuk mengetahui sistem pelayanan yang dapat memberikan nilai atau biaya yang ekonomis.

a. Pengolahan Data

Pengolahan data diharapkan dapat memberikan suatu gambaran khusus mengenai sifat keragaman data, karena data yang diambil dari hasil pengamatan merupakan data mentah

maka akan sulit untuk menarik kesimpulan yang berarti oleh karena diperlukan pengolahan data terlebih dahulu.

b. Kedatangan Haulmaster

Ketika memasuki area *furnace*, terlebih dahulu kendaraan yang datang harus mengikuti sistem pelayanan yang sudah ada pada pengangkutan slag. Berikut adalah data yang diperoleh dari hasil distribusi kedatangan *Haulmaster* yaitu : jumlah data (N) = 160, nilai data terbesar = 15 unit, nilai data terkecil = 13 unit.

$$\text{Range (R):} \quad R = 15 - 13 = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kelas Interval (K): } K &= 1 + 3.3 \log N \\ &= 1 + 3.3 \log 160 \\ &= 8.27 \approx 8 \end{aligned}$$

$$\text{Interval kelas (c):} \quad c = \frac{R}{K}, \quad c = \frac{2}{8} = 0.25$$

Tabel 1. Distribusi kedatangan Haulmasters.

Interval	Frekwensi (Fi)	Nilai tengah kelas (Xi)	Fi × Xi
13 - 13.25	12	13.125	157.5
13.26 - 13.51	19	13.385	254.315
13.52 - 13.77	13	13.64	177.32
13.78 - 14.03	36	13.905	500.58
14.04 - 14.29	25	14.165	354.125
14.30 - 14.55	26	14.425	375.05
14.56 - 14.81	19	14.685	279.015
14.82 - 15.07	10	14.945	149.45
Total	160.0		2247.355

Jumlah rata-rata kedatangan Haulmaster sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k F_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^k F_i}, \quad \bar{X} = \frac{2247.355}{160} = 14.046 \text{ Haulmastes/jam} \approx 14.$$

Jadi Haulmasters (λ) = 14 unit.

c. Pelayanan/Pengisian Pot Haulmaster

Pengamatan waktu pelayanan kendaraan Haulmaster dilakukan melalui pada saat memasuki masing masing *furnace*/ tanur, sampai Haulmaster meninggalkan *furnace*. Berikut adalah data data yang diperoleh dari lampiran data distribusi Pengisian Pot Haulmasters sebagai berikut:

Jumlah Data (N) = 80, Nilai Data Terbesar = 50 pot, Nilai Data Terkecil = 40 pot

$$\text{Range (R)} = 50 - 40 = 10.$$

Jumlah Kelas Interval (K):

$$\begin{aligned} K &= 1 + 3.3 \log N \\ &= 1 + 3.3 \log 80 \\ &= 7.28 \approx 7. \end{aligned}$$

Interval kelas (c):

$$c = \frac{R}{K}, c = \frac{10}{7.28} = 0.14.$$

Tabel 2. Distribusi pelayanan Haulmaster.

Interval	Frekwensi (Fi)	Nilai tengah kelas (Xi)	Fi × Xi
40 - 41.4	2	40.7	81.4
41.5 - 42.9	1	42.2	42.2
43 - 44.4	1	43.7	43.7
44.5 - 45.9	1	45.2	45.2
46 - 47.4	16	46.7	747.2
47.5 - 48.9	34	48.2	1638.8
49 - 50.4	25	49.7	1242.5
Jumlah	80		3841

Rata rata pelayanan dan pengisian pot *Haulmaster* dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^k F_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^k F_i} & \bar{X} &= \frac{3841}{80} = 48.0125 \text{ Haulmasters/shift.} \\ & & & \\ &= \frac{48.0125}{8} = 6.0015625 \approx 6 \text{ Haulmasters } (\mu). \end{aligned}$$

3. Analisis Model Matematis

Dari hasil pengolahan data diperoleh dua macam data yaitu data rata-rata kedatangan Haulmaster (λ) = 14 unit per jam dan data rata-rata lamanya waktu pelayanan Haulmaster pada pengisian pot di masing masing *furnace* (μ) = 6 unit per jam dengan disiplin pelayanan adalah First In First Out (FIFO). Ada empat kemungkinan skenario atau kondisi yang mungkin terjadi yaitu:

1. Skenario C = 4 (Semua *furnace* beroperasi).
2. Skenario C = 3 (Hanya tiga *furnace* yang beroperasi).

3. Skenario $C = 2$ (Hanya dua *furnace* yang beroperasi).
4. Skenario $C = 1$ (hanya satu *furnace* yang beroperasi).

Pada perhitungan berikut diambil kondisi semua *furnace* beroperasi, sementara untuk memudahkan dan mempercepat mendapatkan hasil maka skenario $C = 3$, $C = 2$, dan $C = 1$ digunakan software Tora.

Berikut salah satu skenario yang diuraikan dengan model matematis $C = 4$ (semua *Furnace* beroperasi).

Probabilitas Fasilitas Menganggur

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{C-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^C}{C!} x \frac{C \cdot \mu}{C\mu - \lambda}} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{4-1} \frac{(7/3)^n}{n!} + \frac{(7/3)^4}{4!} x \frac{4 \times 3}{4 \times 3 - 7}}$$

$$= \frac{1}{\left[1 + \frac{7}{3} + \frac{1}{2} \left(\frac{7}{3} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{7}{3} \right)^3 \right] + \frac{(7/3)^4}{4 \times 3 \times 2 \times 1} x \frac{4 \times 3}{4 \times 3 - 7}}$$

$$P_0 = 0.08 = 8\%.$$

Probabilitas Terdapat 4 Pelanggan dalam Sistem (server sibuk)

$$P_n = \frac{\mu \cdot (\lambda/\mu)^c}{(c-1)! (c\mu - \lambda)} \cdot P_0$$

$$P_4 = \frac{3 \cdot (7/3)^4}{(4-1)! (4 \cdot 3 - 7)} \cdot 0.08 = 0.24 = 24\%$$

Rata-rata Jumlah Haulmasters yang Ada dalam Sistem

$$L_s = \frac{\lambda \cdot \mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c}{(C-1)! (C\mu - \lambda)^2} \cdot P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$L_s = \frac{7 \times 3 \left(\frac{7}{3} \right)^4}{(4-1)! (4 \times 3 - 7)^2} \times 0.08 + \frac{7}{3} = 2.66 \approx 3 \text{ Unit Haulmasters.}$$

Rata-rata Jumlah Haulmasters yang Ada dalam Antrian

$$L_q = \frac{\lambda \cdot \mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c}{(C-1)! (C\mu - \lambda)^2} \cdot P_0$$

$$L_q = \frac{7 \times 3 \left(\frac{7}{3} \right)^4}{(4-1)! (4 \times 3 - 7)^2} \times 0.08 = 0.33 \approx 1 \text{ unit Haulmasters.}$$

Rata-rata Waktu Menunggu dalam Sistem

$$W_s = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\sigma} \right)^c}{(C-1)! \cdot (C\mu - \lambda)^2} \cdot P_0 + \frac{1}{\mu}$$

$$W_s = \frac{3 \left(\frac{7}{3} \right)^4}{(4-1)! \cdot (4 \times 3 - 7)^2} \times 0.08 + \frac{1}{3} = 0.38 \text{ jam} = 22.8 \text{ menit.}$$

Rata-rata Waktu Menunggu dalam Antrian

$$W_q = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\sigma} \right)^c}{(C-1)! \cdot (C\mu - \lambda)^2} \cdot P_0$$

$$W_q = \frac{3 \left(\frac{7}{3} \right)^4}{(4-1)! \cdot (4 \times 3 - 7)^2} \times 0.08 = 0.047 \text{ jam} = 2,82 \text{ menit.}$$

Tabel 3. Hasil perhitungan dengan Tora.

n/n/c	QUEUEING OUTPUT							
	Comparative Measures					Nbr of Scenarios = 4		
c	Lambda	Mu	l'da_eff	Ls	Ws	Lq	Wq	
1	4	7.000	3.000	7.000	2.706	0.387	0.373	0.053
2	3	7.000	3.000	7.000	4.473	0.639	2.140	0.306
3	2	5.000	3.000	5.000	5.455	1.091	3.788	0.758
4	1	5.000	6.000	5.000	5.000	1.000	4.167	0.833

4. Analisis Biaya

Dalam analisa biaya ini, hanya mengambil dan menghitung biaya yang terjadi pada alat tersebut dan biaya karyawan atau operator . Biaya biaya yang terjadi pada *Haulmasters* dihitung berdasarkan rate pada masing-masing unit. Rate ini diperoleh berdasarkan pada *biaya perawatan, biaya bahan bakar dan oli, dan biaya spare part, dan biaya lain yang terjadi untuk unit tersebut.* Sedang biaya tenaga kerja adalah seluruh biaya yang dibayarkan kepada karyawan selama satu tahun. Biaya yang terjadi dapat dilihat seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Biaya Haulmaster.

Biaya	Rate/Haur
Biaya Haulmaster	Rp 37,000
Biaya Tenaga Kerja	Rp 22,000
Overhead	Rp 5,000

Untuk mengoptimalkan pengoperasian *Haulmaster* dalam mengangkut slag setiap jam maka aktual kebutuhan unit *Haulmaster* dapat ditekan dengan membagi dengan rate yang dapat

dicapai oleh *Haulmaster* dalam setiap jam. Dengan demikian maka dalam setiap jam dapat ditekan dan diminimalisasi sejumlah biaya operasionalnya yang merupakan keuntungan bagi perusahaan. Selisih biaya aktual dan biaya optimalisasi dapat dilihat seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel perbandingan biaya aktual dan biaya optimalisasi.

<i>Furnace</i>		<i>Haulmaster</i>				
C	Produksi/jam	Aktual (unit)	Biaya (Rp)	Optimalisasi (Unit)	Biaya (Rp)	Selisih Biaya (Rp)
4	488	23	1,472,000	10	640,000	Rp832,000
3	366	17	1,088,000	7	448,000	Rp640,000

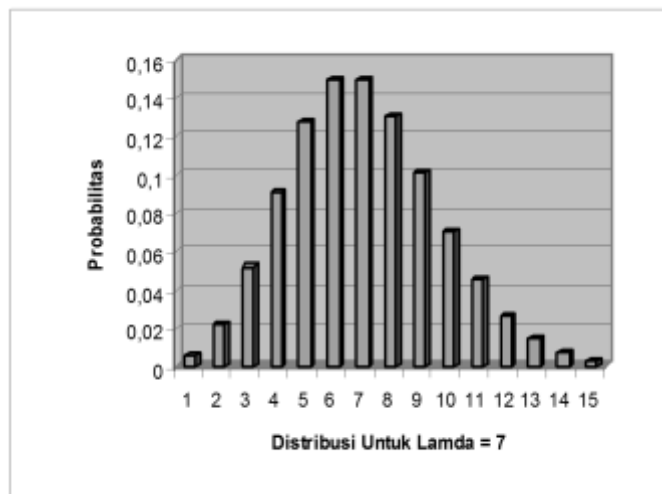
Hasil perhitungan berdasarkan data hasil pengamatan model pengangkutan slag PT. Inco Indonesia dengan menggunakan pendekatan model antrian M/M/C dapat dilihat dalam Tabel 6.

Tabel 6. Tabel Hasil Perhitungan Antrian.

C	λ	μ	Po	Pn	Lq	Ls	Wq	Ws
4	14	6	0.08	0.24	0.33	2.66	0.047	0.38
3	14	6	0.06	0.76	2.13	4.47	0.31	0.64
2	10	6	0.09	0.75	3.75	5.4	0.75	1.09
1	5	6	0.17	0.4	4.17	5.0	0.833	1.00

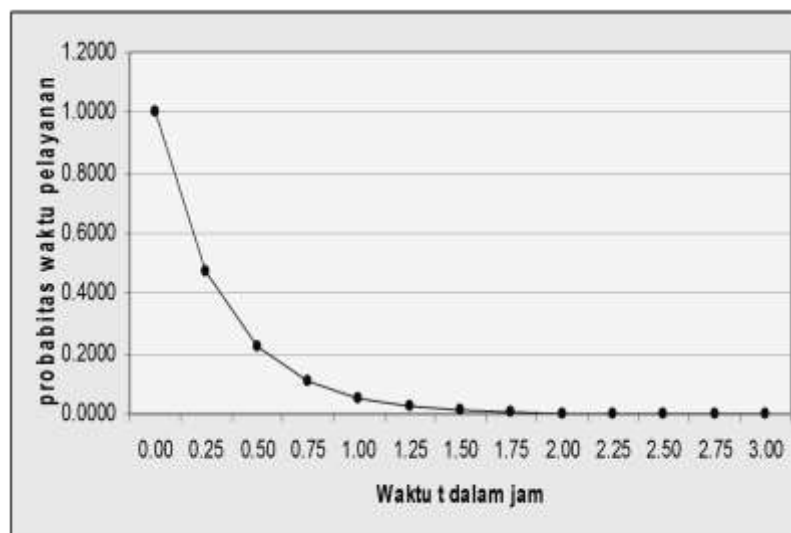
Dari tabel tersebut di atas, hasil perhitungan antrian lamanya waktu menunggu sangat dipengaruhi oleh jumlah *furnace* yang beroperasi, artinya bahwa ketersediaan fasilitas pelayanan dan lamanya melayani disetiap *furnace* menentukan lamanya antrian dan panjang antrian dalam sistem.

Dari hasil analisa data, diperoleh distribusi kedatangan pada sistem pelayanan pengangkutan slag adalah terdistribusi secara Poisson, yakni distribusi kedatangannya acak atau random sepertiterlihat pada Gambar 2. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil pengamatan yang diperoleh dengan $\lambda = 7$ *Haulmaster./jam* bahwa proses tersebut sepenuhnya acak (*Completely Random Process*) karena memiliki sifat bahwa interval waktu yang tersisa sampai pemunculan kejadian berikutnya sepenuhnya tidak bergantung pada interval waktu yang telah berlalu dari pemunculan terakhir.



Gambar 2. Grafik pola distribusi Poisson.

Distribusi waktu pelayanan cenderung mengikuti waktu kedatangan. Umumnya apabila rata-rata waktu kedatangan mengikuti pola distribusi Poisson maka rata-rata waktu pelayanan akan mengikuti pola distribusi eksponensial negatif. Dengan $\mu = 3$ Haulmaster/jam, maka probabilitas waktu pelayanan lebih besar dari $t = e^{-\mu t}$ untuk $t \geq 0$.



Gambar 3. Grafik pola distribusi Eksponensial.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Produksi 488 ton slag / jam yang di hasilkan oleh empat *furnace*, dibutuhkan *maksimum* 23 dan *minimum* 10 unit Haulmaster per jam untuk mengangkutnya, karakteristik pendekatan metode antrian yang digunakan dalam analisa pelayanan pada sistem transportasi pengangkutan slag PT. Inco Indonesia Tbk adalah M/M/C dan FCFS.

2. Dengan mengoptimalkan pengoperasian 10 unit Haulmaster per jam dari actual 23 unit untuk mengangkut slag sebanyak 488 ton per jam yang diproduksi *furnace*, maka perusahaan dapat menekan biaya operasional sebesar Rp 832.000 per jam atau Rp 599.040.000 per bulan.
3. Untuk mendapatkan pola pelayanan yang tepat maka perlu dilakukan studi lanjut mengenai pengaruh konsumsi besarnya power yang pakai dengan laju kecepatan alir dari slag untuk mendapatkan data data lamanya pelayanan pengisian pot yang lebih akurat. Selain itu perlu dipertahankan kinerja operasional pelayanan agar waktu menunggu dan probabilitas tidak adanya kendaraan dalam sistem dapat terkendali.

Daftar Pustaka

1. Deborah A. S, 1998, *Simulation With Arena*, WCB McGraw-Hill.
2. Hamdy, A.T., 1997, *Riset Operasi Suatu Pengantar: Edisi 5 Jilid*, Binarupa Aksara.
3. Jay, H., Barry, R., 2005, *Manajemen Operasi (Operations Management)*, Salemba Empat.
4. Prem K.G., Hira D.S., 2004, *Operations Research*, S. Chand & Company LTD.
5. Ronald, E.W., Raymond, H.M., 1998, *Ilmu Peluang dan Statistika Untuk Insinyur Dan Ilmuwan*, ITB Bandung.
6. Siagian, P., 1987, *Penelitian Operasional Teori dan Praktek*, Universitas Indonesia.