

# SISTEM PENYUSUNAN KEPEGAWAIAN PADA MANAJEMEN CALL CENTER DENGAN MULTI-CLASS PELANGGAN DAN MULTI-POOL SERVER

**Aidy Ilmy, Rully Soelaiman**

Jurusan Pasca Sarjana Teknik Informatika,

Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Sukolilo – Surabaya 60111, Telp. + 62 31 5939214, Fax. + 62 31 5913804

Email : illme@yahoo.com

## ABSTRAK

*Penelitian ini mempertimbangkan suatu model call center dari pengarahan berbasis ketrampilan. Model ini merupakan server yang bersifat homogen dan heterogen sejumlah aliran masuk dan sejumlah kelompok agen, dengan tingkat kedatangan seketika yang diperbolehkan bersifat tergantung dengan waktu (time-dependent) dan bersifat stokastik. Pelanggan yang tidak sabar menunggu untuk dilayani agen kemungkinan akan meninggalkan antrian dan terdapat biaya hukuman yang berhubungan dengan penundaan tersebut.*

*Metoda penyusunan kepegawaian yang diajukan mengoptimalkan perimbangan antara biaya personel dan hukuman penundaan dengan melakukan pengembangan dan penjelasan suatu metoda praktis untuk mengukur jumlah kelompok agen. Dengan menggunakan suatu model stokastik fluida, metoda ini mereduksi permasalahan dalam penyusunan kepegawaian ke bentuk newsvendor problem, yang dapat dipecahkan secara numerik melalui suatu kombinasi linear programming dan simulasi Monte Carlo.*

*Hasil penelitian dan analisa yang diperoleh, dimana dalam semua kasus untuk ukuran kelompok yang diperoleh dari hasil simulasi hampir mendekati optimal dengan hasil dari metode pendekatan yang diusulkan, sekitar 2%-3%..*

**Kata kunci :** *ukuran kapasitas, call center, penundaan, stochastic programming, newsvendor problem, antrian.*

## 1. PENDAHULUAN

Dari sebuah perspektif riset operasi, dua pokok permasalahan dari manajemen telepon call center adalah (a) penugasan agen sesuai dengan rencana kerja, yang sering disebut sebagai masalah perencanaan jadwal staff, dan (b) pengarahan panggilan dinamis ke agen yang memberikan status pada sistem, yang disebut sebagai masalah pengarahan yang dinamis. paper ini secara langsung terkait dengan permasalahan yang pertama, dan karena kedua permasalahan tersebut tidak mungkin untuk dipisahkan yang secara tidak langsung terkait satu sama lain.

Seperti dalam pelajaran riset operasi, dapat dipandang bahwa suatu call center sebagai sistem antrian, sering menjadi acuan bahwa penelpon disebut sebagai "pelanggan" dan untuk agen call center disebut sebagai "server". Model dasar yang dipakai mempunyai  $m$  kelas pelanggan dan  $r$  kelompok server. Kelompok server  $k$  terdiri dari  $b_k$  agen yang dapat bertukar tempat ( $k= 1, \dots, r$ ) yang kemampuannya akan segera diuraikan. Pelanggan dari berbagai kelas tiba secara acak dari waktu ke waktu, dan mereka yang tidak bisa dilayani dengan

seketika menunggu di dalam sebuah kapasitas buffer infinite (ruang penyangga yang tidak terbatas) yang dipakai untuk kelas tertentu. Berkenaan dengan masalah pengarahan dinamis diawal sebelumnya. Pertama, kapan saja pelanggan tiba dan disana ada satu atau lebih server kosong yang mampu menangani kelas pelanggan, manajer sistem harus memilih antara mengarahkan pelanggan dengan segera kepada salah satu dari mereka atau meletakkan pelanggan ke dalam storage buffer (ruang penyangga) untuk penempatan berikutnya. Jika pelanggan diharapkan untuk diarahkan dengan segera, mungkin ada pilihan mengenai kelompok server mana yang akan dijadikan arahnya. Kedua, setiap kali suatu server menyelesaikan pengolahan terhadap pelanggan dan terdapat satu atau lebih kelas pelanggan menunggu yang bahwasanya server mampu menangani, manajer sistem harus memilih antara mengarahkan salah satu dari pelanggan itu kepada server dengan seketika atau menganggurkan server untuk mengantisipasi kedatangan yang akan datang. Keputusan mengalokasi sumber daya ini dikondisikan berdasar informasi status sistem pada saat itu ketika melakukan pilihan, mencakup jumlah

pelanggan yang menunggu di dalam ruang penyangga dan jumlah server yang menganggur dalam kelompok

## 2. MODEL ANALITIS CALL CENTER

Dapat digambarkan bahwa call center merupakan sebuah unit layanan dimana sekelompok agen menangani sejumlah penelepon masuk dengan volume panggilan yang besar. Call center digunakan untuk kepentingan penjualan, layanan dan transaksi khusus lainnya. Secara khusus, unit operasional dari suatu call center terdiri dari beberapa saluran telepon, suatu mesin pengubah (switching machine) yang dikenal sebagai Automatic Call Distributor (ACD) atau Interactive Voice Response/Voice Response Unit (IVR/VRU) yang disambungkan ke Private Automatic Branch Exchange (PABX) dan agen telepon. Pelanggan pada umumnya memutar angka khusus yang disediakan oleh pihak call center; dimana jika saluran bebas atau kosong, pelanggan dapat masuk atau terlayani, tetapi jika tidak pelanggan akan memperoleh tanda/sinyal sibuk dan panggilan ditolak. Kemudian, jika semua agen sedang sibuk, panggilan akan masuk antrian di dalam ACD sampai salah satu agen tersedia.

Dalam dekade terbaru ini telah banyak tumbuh berkembang perusahaan yang menyediakan jasa layanan lewat telepon dan juga menyediakan variasi pelayanan teleponnya. Keseluruhan tantangan dalam merancang dan mengatur suatu service center (layanan pusat) adalah usaha untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi operasional dan kualitas layanan, dan hal paling ekstrim dalam tantangan pelayanan telepon ini adalah suatu call center yang besar melayani beribu-ribu panggilan tiap harinya, masing-masing permintaan harus direspon dalam beberapa detik. Dan sebuah model analitik disediakan agar ditemukan sebuah keseimbangan model dan berusaha membuat acuan untuk sebuah model.

Secara umum, call center sering dipandang sebagai sistem antrian, terdapat dua skema model yang umum, yaitu

- a. Disiplin first come first served (FCFS)
- b. Skill-based routing (pengarahan berbasis ketrampilan)

## 3. SUSUNAN KEPEGAWAIAN MANAJEMEN CALL CENTER

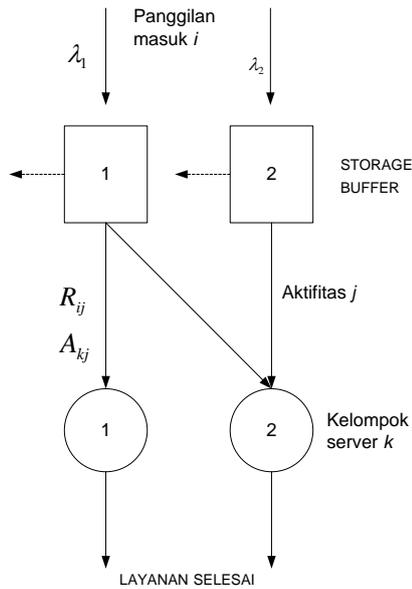
Penelitian terhadap penyusunan kepegawaian call center telah difokuskan pada kasus satu server pool dengan agen yang homogen. Dasar model antrian, khususnya, rumusan Erlang-C untuk model antrian M/M/N dalam [6], dengan menyediakan alat analisa matematika beserta aturannya. Secara luas suatu peraturan dari pengalaman yang digunakan muncul dari rumusan Erlang-C, seperti dalam [11], mengenai aturan dasar penyusunan kepegawaian yang optimal, yang merekomendasikan ukuran server pool dari perolehan bentuk  $N = R + \beta\sqrt{R}$ , dimana  $R$

adalah nilai nominal beban yang datang diukur dalam Erlang. Dapat dilihat dalam untuk pertimbangan yang lebih teliti dengan menggunakan limit difusi. Sebuah analisa asymptotic terbaru menyangkut masalah penyusunan kepegawaian dalam konteks model call center M/M/N single-class/single-pool telah dilakukan [4]. Mereka memperbaiki aturan dasarnya dengan melakukan optimasi  $\beta$  untuk menyeimbangkan antrian dan biaya-biaya penyusunan kepegawaian. Dalam [8] memperluas prinsip dasar penyusunan kepegawaian meliputi penundaan, sedangkan [10] melakukan penyesuaian formalisme ini meliputi permintaan non-stationary dengan menggunakan perkiraan server yang infinite. Semua hasil penelitian di atas berkenaan dengan model antrian single-class/single-pool Markovian. Efek dari ketidakpastian dan non-stationary telah dibahas [5] dan [1] menggunakan simulasi dan metoda pemotongan bidang untuk mengoptimalkan biaya-biaya yang tunduk terhadap batasan kualitas layanan.

### 3.1. MULTI-CLASS PELANGGAN DAN MULTI-POOL SERVER

Untuk contoh yang digambarkan pada Gambar 2 kelompok server  $r$  ( $k=1,2$ ) dengan  $m$  kelas pelanggan ( $i=1,2$ ), dimana salah satu kelompok server mampu menangani dua kelas pelanggan; kelas pelanggan 1 dapat dilayani oleh kelompok manapun, tetapi kelas pelanggan 2 hanya dapat dilayani oleh satu kelompok saja. Secara umum, diijinkannya distribusi waktu layanan pelanggan untuk tergantung kepada kelas pelanggan dan di kelompok dari mana server datang. Secara skematis pada Gambar 1; buffer digambarkan dengan segiempat panjang dan kelompok server dengan lingkaran. Sebuah asumsi penting terhadap model yang dimiliki bahwasanya pelanggan dari segala kelas yang ada akan meninggalkan/menunda panggilan mereka jika terpaksa menunggu terlalu lama sebelum permulaan layanan; meninggalkan panggilan diwakili oleh panah horizontal dengan garis putus-putus yang keluar dari storage buffer.

Dalam menguraikan call center dan berhubungan dengan masalah pengarah dinamis, yang ditekankan sebenarnya adalah bentuk fisik secara lengkap. Pada teknologi call center yang ada sekarang dapat ditekankan bahwa suatu kapasitas manajemen berkaitan dengan suatu pengambilan keputusan secara hirarki: keputusan terhadap perekrutan, pelatihan dan kemampuan menentukan level personil; level personil tersebut membatasi keputusan terhadap keputusan penjadwalan karyawan yang menentukan ukuran kelompok; dan kemudian ukuran kelompok membatasi keputusan terhadap pengarah dinamis yang dibuat dan dirubah.



**Gambar 2. Model skematis sebuah call center dengan 2 kelas pelanggan dan 2 kelompok server**

Dengan mengabaikan tingkatan pertama atau yang paling tinggi dalam hirarki tersebut, dapat diperlihatkan seperti berikut, sedikitnya disesuaikan dengan permasalahan yang sudah ditulis sebelumnya, setelah itu menjelaskan bagaimana analisa dapat diperluas untuk mengenali lebih banyak susunan yang baik sesuai dengan penjadwalan karyawan secara nyata. Pertama, variabel keputusan dalam perumusan adalah ukuran kelompok  $b_1, \dots, b_r$  diidentifikasi lebih awal, dengan memperlakukannya sebagai variabel berlanjut. Kedua, dalam perumusan menyangkut permasalahan penjadwalan karyawan, manajer sistem harus menentukan sebelumnya kapasitas vektor  $b = (b_1, \dots, b_r)$  untuk digunakan selama periode perencanaan yang telah ditetapkan; dengan asumsi, keputusan tersebut tidak dapat dirubah sebagai kebutuhan sebenarnya yang diamati sepanjang periode waktu. Ketiga, dengan menyatakan tingkat kualitas pelayanan berkaitan dengan perumusan yang diajukan dengan menambahkan hukuman sebesar  $p_i$  dollar untuk masing-masing kelas pelanggan  $i$  yang meninggalkan panggilannya; hal ini akan dibahas pada paragraf berikutnya, dimana perumusan tersebut dapat dengan mudah diperluas untuk lebih lanjut dengan menyertakan biaya ketika menunggu secara linear untuk masing-masing kelas pelanggan. Terakhir, dengan memberikan biaya personil  $c_k$  yang dihubungkan dengan penggunaan satu server dalam kelompok  $k$  selama periode perencanaan ( $k = 1, \dots, r$ ), tujuannya adalah untuk memperkecil jumlah biaya-biaya personil serta biaya total penundaan yang diharapkan.

Tugas yang rumit dalam permasalahan ini adalah memperkirakan pencapaian performa yang terbaik dengan kapasitas vektor  $b$  yang telah ditentukan, dengan maksud biaya penundaan paling kecil yang diharapkan dapat dicapai melalui periode perencanaan dengan kapasitas vektor yang sudah ditetapkan.

**3.2. PERIODE PERENCANAAN**

Dua unsur penting dalam periode perencanaan yang berkaitan dengan permasalahan yang ada secara implisit berlaku kondisi sebagai berikut :

- a. Keputusan penyusunan kepegawaian untuk berbagai periode perencanaan yang diberikan harus diselesaikan dengan sebaik-baiknya sebelum periode tersebut benar-benar dimulai, sehingga terdapat ketidakpastian yang penting pada saat pengambilan keputusan terhadap tingkat rata-rata kedatangan yang akan digunakan/diterapkan.
- b. Periode perencanaan tidak dapat dibuat terlalu pendek/singkat (sehingga staf level tidak bisa seringkali dirubah) yang mana variasi sementara dalam tingkat rata-rata kedatangan dalam suatu periode perencanaan dapat diabaikan.

Sehingga dalam situasi tertentu yang diharapkan, call center akan menjadi semakin kelebihan pegawai (overstaff) atau menjadi kekurangan pegawai (understaff) pada suatu waktu, meskipun dengan melakukan pengambilan keputusan yang optimal, sebab manajer sistem kurang mampu dalam menentukan kapasitas secara baik sebagai jawaban atas permintaan yang sedang diamati.

**3.3. METODE PENYUSUNAN KEPEGAWAIAN YANG DIAJUKAN**

Untuk menguraikan kemampuan server dalam model call center yang diajukan, akan digunakan ide pengolahan proses “aktivitas” yang sudah terbukti sebelumnya [9]. Terdapat total  $n$  aktivitas pemrosesan yang tersedia untuk manajer sistem dalam model call center umum, masing-masing aktivitas tersebut sesuai dengan agen dari kelompok server tertentu yang melayani pelanggan dari kelas tertentu. (Dengan begitu total jumlah aktivitas  $n = 3$  untuk sistem yang terdapat dalam Gambar 1). Untuk masing-masing aktivitas  $j = 1, \dots, n$  ditunjukkan dengan  $i(j)$  sebagai kelas pelanggan yang sedang dilayani, dengan  $k(j)$  sebagai kelompok server yang terlibat, dan dengan  $\mu_j$  sebagai tingkat nilai layanan yang diharapkan (sehingga hal ini berbanding terbalik dengan nilai yang diharapkan dari distribusi waktu layanan).

Dimisalkan  $R$  dan  $A$  berturut-turut sebagai suatu  $m \times n$  matrik dan  $r \times n$  matriks, masing-masing didefinisikan sebagai berikut: untuk masing-masing  $j = 1, \dots, n$  dimana  $R_{ij} = \mu_j$  jika  $i = i(j)$  dan  $R_{ij} = 0$  untuk sebaliknya, dan dimana  $A_{kj} = 1$  jika  $k = k(j)$  dan  $A_{kj} = 0$  untuk sebaliknya. Sehingga ada yang menginterpretasikan  $R$  sebagai suatu input-output matriks, dimana unsur  $(i,j)$ -nya menentukan tingkat rata-rata di mana aktivitas  $j$  memindahkan kelas pelanggan  $i$  dari sistem. Serta,  $A$  adalah suatu kapasitas pemakaian matrik dimana unsur  $(k,j)$ -nya bernilai 1 jika aktivitas  $j$  mendekati kapasitas kelompok server  $k$  dan bernilai nol untuk sebaliknya. Sebagai tambahan terhadap matriks  $R$  dan  $A$ , metoda yang digunakan dalam penyusunan kepegawaian call center memerlukan data vector  $p = (p_1, \dots, p_m)$  untuk tingkat hukuman, dan vektor  $c = (c_1, \dots, c_r)$  untuk biaya personil. Satu-satunya masukan lain yang diperlukan adalah suatu distribusi probabilitas  $F$  pada  $R_+^m$  yang dihubungkan dengan proses permintaan.

Kemudian terhadap pemodelan yang diinginkan, waktu  $t = 0$  menunjukkan awal periode perencanaan dan waktu  $t = T$  sebagai akhirnya. Demi mewujudkan hal tersebut akan dibicarakan berkaitan dengan suatu model permintaan doubly stokastik Poisson, yang artinya seperti berikut. Diberikan suatu proses stokastik  $\Lambda = (\Lambda(t) : 0 \leq t \leq T)$  dengan mengambil nilainya pada  $R_+^m$ , dan diberikan  $\Lambda(t) = \lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_m)$ , persyaratan distribusi kedatangan dalam kelas pelanggan  $1, \dots, m$  dengan segera setelah waktu  $t$  sebagai proses Poisson yang independen dengan tingkat rata-rata kedatangan  $\lambda_1, \dots, \lambda_m$  dengan berturut-turut dimana  $(0 \leq t < T)$ .

Untuk masing-masing  $\lambda \in R_+^m$  dan  $b \in R_+^m$  ditunjukkan dengan  $\pi^*(\lambda, b)$  sebagai nilai obyektif optimal dari program linier (LP) berikut: memilih suatu  $n$ -vector  $x$  untuk

$$\text{Minimize } \pi = p(\lambda - Rx) \tag{1}$$

Subject to

$$Rx \leq \lambda, Ax \leq b, \text{ dan } x \geq 0 \tag{2}$$

Masalah dari LP ini menggambarkan apa yang disebut dengan suatu versi lokal fluida dari manajer sistem terhadap masalah penjadwalan yang dinamis: dengan memberikan  $\lambda$  dan  $b$  arti yang sama seperti sebelumnya, menginterpretasikan  $x$  sebagai jumlah server yang digunakan untuk aktivitas  $j$  mendatang ( $j = 1, \dots, n$ );  $Rx$  merupakan tingkat vektor keluaran dari berbagai kelas pelanggan yang dihasilkan oleh aktivitas program, dan  $Ax$  merupakan vektor komponen yang menunjukkan jumlah server dalam berbagai macam kelompok yang sedang sibuk.

Spesifikasi awal dari metoda yang diajukan untuk penyusunan kepegawaian, secara sederhananya seperti sebagai berikut: dipilih sebuah kapasitas vektor  $b$  untuk

$$\text{Minimize } c \cdot b + E \left\{ \int_0^T \pi^*(\Lambda(t), b) dt \right\} \tag{3}$$

Dimana  $E\{\cdot\}$  berdasarkan rumusan [2] menunjukkan nilai yang diharapkan atas kemungkinan realisasi terhadap proses stokastik  $\Lambda$ . Sekali lagi, pemikiran yang mendukung terhadap rekomendasi ini akan dibahas pada sub bab berikutnya. Bagaimanapun, karena syarat awal dari  $c \cdot b$  dalam fungsi obyektif (3) menunjukkan total biaya personil berhubungan dengan kapasitas vektor  $b$ , yang sebenarnya fungsi (3) ini merupakan LP berdasarkan perkiraan pencapaian performa terbaik yang telah ditunjukkan dalam paragraf sebelumnya.

Untuk menuangkan kembali masalah optimisasi (3) kedalam bentuk standar, akan didefinisikan fungsi distribusi kumulatif

$$F(\lambda) := \frac{1}{T} \int_0^T P\{\Lambda(t) \leq \lambda\} dt \text{ untuk } \lambda \in R_+^m \tag{4}$$

Menginterpretasikan  $F(\lambda)$  sebagai penggalan waktu yang diharapkan (dalam periode perencanaan penelitian) selama  $\Lambda(\cdot) \leq \lambda$ . Disini akan dibuktikan bahwa (3) setara dengan hal berikut (jika  $\Lambda$  adalah proses nilai terbatas, dan kemudian dapat menggunakan suatu monotone, perkiraan nilai terbatas untuk menetapkan kesamaan yang umum)

$$\text{Minimize } c \cdot b + T \int_{R_+^m} \pi^*(\lambda, b) dF(\lambda) =: \phi(b) \tag{5}$$

Dalam literatur pemrograman stokastik, masalah semacam ini disebut sebagai *two-stage LP with recourse*: di langkah yang pertama seorang manajer sistem memilih kapasitas vektor  $b$  dan membuat biaya  $c \cdot b$ , kemudian suatu permintaan acak vektor  $\lambda$  dengan distribusi  $F$  diamati, dan berdasar

pengamatan tersebut, manajer sistem memilih di langkah yang kedua suatu vektor  $x$  tingkatan aktivitas yang memecahkan masalah pemrograman linier (1)-(2). Persoalan tentang two-stage problem terdapat dalam (5) sering disebut dengan *multi-dimensional news vendor problem* [15].

Mengenai teknik solusi numeriknya, terdapat dua pendekatan berbeda secara komputasi yang tampak dalam literatur pemrograman stokastik [3]. Pertama, bermacam metoda yang tepat dapat digunakan ketika distribusi  $F$  memusatkan secara masal pada sejumlah angka yang relatif kecil, dan kedua, metoda pendekatan berdasar simulasi Monte Carlo dapat digunakan dalam kasus yang umum [14] untuk paper terbaru dari metoda ini.

**3.4. UJICоба DAN ANALISA HASIL**

Sekarang akan menuju ke rangkaian contoh untuk ujicoba yang menggambarkan capaian dari metoda susunan kepegawaian berdasar ketidaktetapan (fluida) yang diusulkan ke dalam skenario yang lebih rumit. Khususnya, dengan mempertimbangkan model sistem yang mempunyai dua kelas pelanggan dan pengoperasiannya melibatkan keputusan pengarah dinamis. Sistem ini akan dianalisa dengan pola permintaan yang disesuaikan, untuk proses kedatangan panggilan pada sistem bersifat non homogeneous Poisson, dimana data bersifat acak yang dihasilkan seperti terdapat dalam [13] melalui metode pendekatan contoh acak atau algoritma thinning..

Model sistem yang dilukiskan pada Gambar 2 mempunyai dua kelas pelanggan ( $m = 2$ ) yang berturut-turut dilayani oleh dua kelompok agen ( $r = 2$ ). Penelepon kelas 1 dan 2 datang sesuai dengan proses non-homogenous Poisson dengan intensitas stokastik  $\Lambda_1(t)$  dan  $\Lambda_2(t)$ . Terdapat  $b_k$  server dalam kelompok  $k$  ( $k = 1,2$ ), dan kemungkinan bertemunya server dengan pelanggan dilukiskan pada gambar tersebut. Pada terminologi pada 3.1, model dua kelompok mempunyai 3 aktifitas pengolahan. Untuk menyederhanakan keputusan penjadwalan dinamis yang dilibatkan dalam penyediaan server untuk panggilan yang masuk dan menunggu, dengan berasumsi bahwa semua waktu layan bersifat distribusi eksponensial dengan tingkat  $\mu_j = 1$  pelanggan per menit ( $j = 1,2,3$  untuk sistem dua kelompok). Lebih dari itu, untuk menyederhanakannya, dapat berasumsi bahwa layanan dapat disela pada setiap saat dan selanjutnya dimulai kembali dari titik preempsi tanpa mengakibatkan suatu hukuman.

Kelas pelanggan  $i$  yang menunggu dalam antrian, meninggalkan tempat dengan tingkat  $\gamma_i = 0,5$  peninggalan per menit, contoh, waktu antar penundaan bersifat distribusi eksponensial dengan

rata-rata  $1/\gamma_i = 2$  menit ( $i = 1,2$ ) dan tidak terikat dengan proses kedatangan dan waktu layan. Hukuman abandonment sebesar  $p_1 = \$1$  dan  $p_2 = \$2$  per abandonment. Dengan asumsi dan data masukan ini, menjadi hal terbaik dengan memberikan kelas 2 prioritas ketika suatu keputusan alokasi server perlu untuk dibuat. Panjang batas perencanaan dipertimbangkan  $T = 480$  menit, dan biaya penggunaan server selama waktu kerja dalam sehari sebesar  $c_1 = \$160$  dan  $c_2 = \$240$  pada sistem dua kelompok. Biaya-biaya ini menggambarkan fakta bahwa agen yang fleksibel (terlatih) dibayar lebih dari mereka yang hanya dapat memproses kelas pelanggan tunggal.

Dengan mempertimbangkan pola permintaan yang disesuaikan terlukis pada Gambar 3, dimana fungsi distribusi permintaan  $F$ , yang didefinisikan pada (4), yang didistribusikan massanya  $\frac{1}{2}$  uniform untuk masing-masing kedua bagian dibawah ini

$$\{(\lambda_1, \lambda_2): \lambda_1 = 2\lambda_2 + 5 = x, 55 \leq x \leq 95\} \text{ dan } \{(\lambda_1, \lambda_2): \lambda_1 = 2\lambda_2 = x, 35 \leq x \leq 55\}$$

Ujicoba yang akan dilakukan nanti terdiri dari dua cara yaitu melalui simulasi dan penghitungan dari hasil rumus perkiraan fluida. Untuk masing-masing nilai ujicoba  $b_{1,2} = 50, \dots, 60$ , dengan mensimulasikan pencapaian system mencapai 1000 hari yang secara statistik tidak saling terkait dan mencatat biaya rata-rata per harinya untuk tiap-tiap nilai  $b$ . Nilai biaya rata-rata tersebut, bersama dengan batas atas dan bawah dari 95% selang kepercayaan, dimana contoh yang sedang dibicarakan dikenali sebagai “skenario permintaan yang bervariasi/disesuaikan”. Seperti digambarkan juga dalam gambar 4 adalah perkiraan biaya rata-rata harian (sebagai fungsi dari  $b$ ) yang diperoleh dari perkiraan fluida (3).

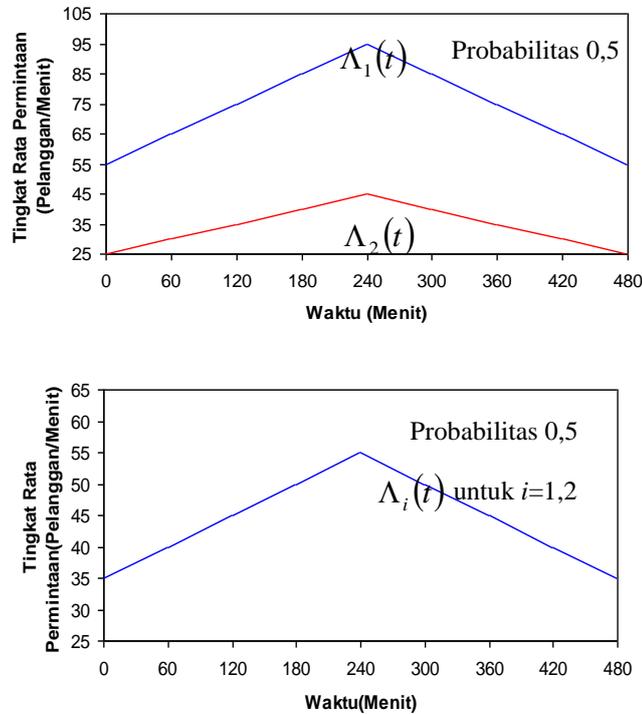
Untuk melakukan analisis terhadap kinerja sistem penyusunan kepegawaian pada manajemen call center yang dikembangkan pada penelitian ini, maka parameter yang diukur adalah dengan melakukan perbandingan jumlah biaya abandonment dan biaya personel dari hasil simulasi terhadap hasil yang diperoleh dari rumus perkiraan fluida yang diajukan.

Selanjutnya, seperti terlihat pada tabel 1, hasil uji simulasi pada tabel hampir identik dengan rumus perkiraan fluida yang diajukan, dan dimana nilai rata-rata biayanya masih berada diantara batas bawah dan atas dari 95% selang kepercayaan yang digunakan sebagai metode penguji yaitu sekitar 2%-3% untuk menentukan ke-identik-an hasil antara simulasi dan rumus yang diajukan.

Terdapat dua kesimpulan penting yang dapat ditarik dari gambar 4. Pertama, untuk tiap-tiap nilai  $b$  dalam cakupan pertimbangan, perkiraan pencapaian

fluida menjadi akurat sampai sekitar 2% - 3%. Kedua, ukuran pool  $b^*=54,52$  yang direkomendasikan oleh metoda fluida yang diajukan hampir optimal dalam studi simulasi. Pada table 2 menyimpulkan ukuran pool yang direkomendasikan

dan berkaitan perkiraan biaya harian untuk skenario permintaan bervariasi yang dibuat, pertama berdasar studi simulasi dan berdasar perkiraan fluida. Pada gambar 5, mnyiratkan jumlah total abandonment masing-masing kelompok server yang diujicobakan.



Gambar 3 Dua dimensi pola permintaan yang disesuaikan.

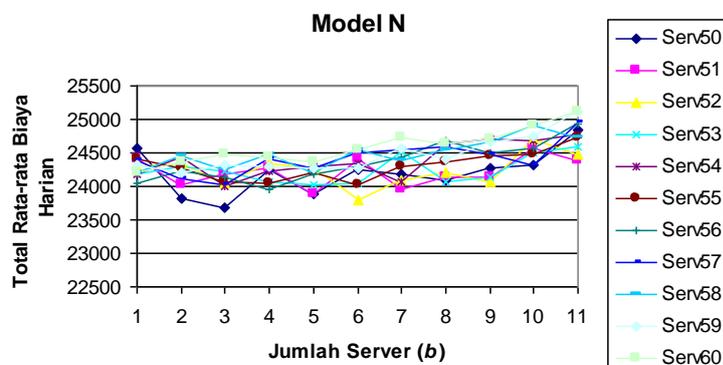
Tabel 1 Hasil Uji Simulasi Model N dengan  $b_1=50, \dots, 60$  dan  $b_2=50, \dots, 60$

Server1	Server2	Total Biaya Optimum	Biaya Abandonment	95% Selang Kepercayaan	Upper 95% SK	Lower 95% SK	Biaya Server
50	51	23808.5	3568.51	481.213	24289.71	23327.29	20240
50	52	23680.2	3200.22	521.62	24201.82	23158.58	20480
50	54	23894.3	2934.29	484.184	24378.48	23410.12	20960
50	56	24181.9	2741.9	443.772	24625.67	23738.13	21440
<b>50</b>	<b>57</b>	<b>24095.1</b>	<b>2415.1</b>	<b>429.251</b>	<b>24524.35</b>	<b>23665.85</b>	<b>21680</b>
50	58	24283	2363.01	405.59	24688.59	23877.41	21920
51	51	24013.9	3613.94	455.923	24469.82	23557.98	20400
51	52	24191.8	3551.76	455.658	24647.46	23736.14	20640
51	54	23897.6	2777.57	461.902	24359.5	23435.7	21120
51	55	24399.2	3039.24	436.813	24836.01	23962.39	21360
<b>51</b>	<b>56</b>	<b>23963.9</b>	<b>2363.86</b>	<b>417.058</b>	<b>24380.96</b>	<b>23546.84</b>	<b>21600</b>
51	57	24141.2	2301.15	401.397	24542.6	23739.8	21840
51	58	24141.9	2061.94	386.546	24528.45	23755.35	22080
52	52	24045.7	3245.65	435.541	24481.24	23610.16	20800
<b>52</b>	<b>55</b>	<b>23795.7</b>	<b>2275.72</b>	<b>404.664</b>	<b>24200.36</b>	<b>23391.04</b>	<b>21520</b>
52	56	24099	2339.02	399.213	24498.21	23699.79	21760
52	57	24198.8	2198.79	378.463	24577.26	23820.34	22000
52	58	24062	1822.01	351.244	24413.24	23710.76	22240
53	50	24183.7	3703.66	418.705	24602.41	23765	20480
53	53	24075	2875.08	402.034	24477.03	23672.97	21200
<b>53</b>	<b>54</b>	<b>24015.1</b>	<b>2575.08</b>	<b>387.813</b>	<b>24402.91</b>	<b>23627.29</b>	<b>21440</b>

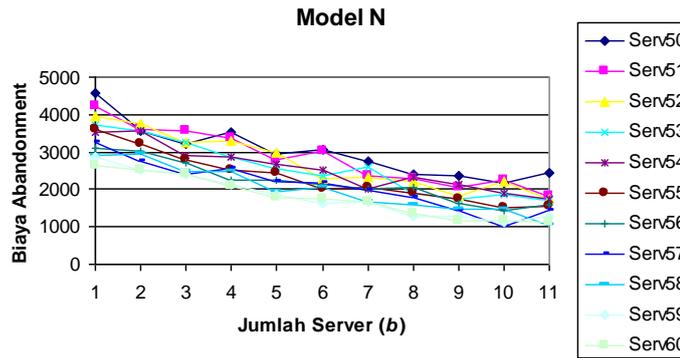
53	55	24055.1	2375.14	394.943	24450.04	23660.16	21680
53	57	24075.5	1915.48	351.68	24427.18	23723.82	22160
53	58	24126.3	1726.26	337.181	24463.48	23789.12	22400
54	50	24179.8	3539.85	404.949	24584.75	23774.85	20640
54	52	24010.5	2890.55	384.403	24394.9	23626.1	21120
<b>54</b>	<b>55</b>	<b>24343.5</b>	<b>2503.46</b>	<b>343.384</b>	<b>24686.88</b>	<b>24000.12</b>	<b>21840</b>
54	56	24076.8	1996.81	350.689	24427.49	23726.11	22080
55	52	24073.2	2793.16	362.246	24435.45	23710.95	21280
<b>55</b>	<b>53</b>	<b>24054.8</b>	<b>2534.8</b>	<b>354.181</b>	<b>24408.98</b>	<b>23700.62</b>	<b>21520</b>
55	54	24196.3	2436.34	339.724	24536.02	23856.58	21760
55	55	24029.6	2029.59	325.096	24354.7	23704.5	22000
56	50	24050.5	3090.52	354.763	24405.26	23695.74	20960
56	52	24143	2703.04	337.594	24480.59	23805.41	21440
<b>56</b>	<b>53</b>	<b>23946.3</b>	<b>2266.32</b>	<b>327.021</b>	<b>24273.32</b>	<b>23619.28</b>	<b>21680</b>
56	54	24185.1	2265.14	322.576	24507.68	23862.52	21920
57	51	24104.7	2744.65	320.824	24425.52	23783.88	21360
<b>57</b>	<b>52</b>	<b>24017.2</b>	<b>2417.24</b>	<b>325.396</b>	<b>24342.6</b>	<b>23691.8</b>	<b>21600</b>
57	54	24282.8	2202.76	294.741	24577.54	23988.06	22080
58	50	24195.2	2915.17	305.477	24500.68	23889.72	21280
<b>58</b>	<b>52</b>	<b>24244.9</b>	<b>2484.94</b>	<b>295.809</b>	<b>24540.71</b>	<b>23949.09</b>	<b>21760</b>
58	54	24194	1954.05	279.111	24473.11	23914.89	22240
<b>59</b>	<b>51</b>	<b>24199.2</b>	<b>2519.15</b>	<b>281.456</b>	<b>24480.66</b>	<b>23917.74</b>	<b>21680</b>
59	53	24297.8	2137.85	268.983	24566.78	24028.82	22160
59	54	24265	1864.98	262.566	24527.57	24002.43	22400
59	55	24282.8	1642.85	248.65	24531.45	24034.15	22640
<b>60</b>	<b>50</b>	<b>24215.2</b>	<b>2651.18</b>	<b>259.588</b>	<b>24474.79</b>	<b>23955.61</b>	<b>21600</b>
60	51	24369.7	2529.72	263.202	24632.9	24106.5	21840
60	54	24352.3	1792.26	243.685	24595.99	24108.62	22560

Tabel 2 Hasil optimal tingkat penyusunan kepegawaian dan rata-rata biaya sistem per harinya antara simulasi dengan perkiraan fluida

	Ukuran Kelompok Server Optimal	Biaya Personil Optimum	Rata-rata Biaya Penundaan Optimum	Rata-rata Total Biaya Optimum
Kelompok Dua Server: Hasil Simulasi	52,55	\$ 21,520	\$ 2,276	\$ 23,796
Kelompok Dua Server: Perkiraan Fluida	54,52	\$ 21,120	\$ 2,654	\$23,774



Gambar 4 Penggabungan total biaya rata-rata harian sebagai fungsi dari jumlah server (model N) dengan  $b=50, \dots, 60$



Gambar 5 Penggabungan biaya abandonment sebagai fungsi dari jumlah server (model N) dengan  $b=50, \dots, 60$

#### 4. KESIMPULAN

Metoda sistem penyusunan kepegawaian yang dikembangkan dengan menggunakan perkiraan fluida mampu melakukan estimasi pencapaian sistem terbaik terhadap ukuran vektor kelompok server yang diberikan dan menggunakan estimasi tersebut untuk mengoptimalkan ukuran kelompok server yang diberikan oleh susunan sistem. Dan sesungguhnya, metoda penyusunan kepegawaian ini akan menjadi valid jika sistem merencanakan suatu kebijakan pengarahan dinamis yang pencapaiannya memperhatikan biaya abandonment sesuai dengan pendekatan yang digunakan. Dalam penelitian tersebut, digunakan suatu metode kombinasi antara linear programming dengan simulasi Monte Carlo.

Pada pengujian sistem, digunakan Model Call Center N. Untuk Model Call Center dilakukan pengujian, yaitu : Memberikan nilai estimasi distribusi permintaan  $F$  yang telah didefinisikan sehingga fungsi distribusi ini dapat menghasilkan suatu proses kedatangan yang sesuai dengan periode perencanaan dimana sebelumnya telah diberikan data acak sebagai data jumlah pelanggan yang datang secara bervariasi pada jenis kelas pelanggan  $i$  ( $i=1,2$ ) untuk model N. Tingkat biaya kelompok server dan biaya abandonment yang didapatkan dari hasil simulasi hampir mendekati dengan perhitungan rumus perkiraan yang diajukan, akurat sekitar 2%-3% terhadap batas 95% selang kepercayaan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Atlason, J., Epelman, M.A., and Henderson, S.G., "Call center staffing with simulation and cutting plane methods", 2003.
2. Bassamboo, A., Harrison, J.M, and Zeevi, A., "Dynamic routing in large call centers: Asymptotic analysis of an LP-based method", 2004.
3. Birge, J.R. and Louveaux, F., "An introduction to stochastic programming", 1997.
4. Borst, S. , Mandelbaum, A., and Reiman, M., "Dimensioning large call centers", 2000.
5. Chen, B.P.K, dan Henderson, S.G., "Two issues in seting call center staffing levels", 2001.
6. Gans, N. , Koole, G. , and Mandelbaum, A., "Telephone call centers: Tutorial, review, and research prospects", 2003.
7. Garnett, O., and Mandelbaum, A., "An introduction to skills-based routing and its operational complexities", *Teaching note, Technion, Haifa, Israel*, 2001. Full version downloadable from [ie.technion.ac.il/serving/Homeworks/HW9.pdf](http://ie.technion.ac.il/serving/Homeworks/HW9.pdf).
8. Garnett, O., Mandelbaum, A., and Reiman, M., "Designing a call center with impatient customers", 2002.
9. Harrison, J.M. and Lopez, M.J., "Heavy traffic resource pooling in parallel- server systems", 1999.
10. Jennings, O., Mandelbaum, A., Massey, W., dan Whitt, W., "Server staffing to meet time-varying demand", 1996.
11. Kolesar, P.J. dan Green, L.V., "Insights on service system design from a normal approximation to Erlang's delay formula", 1998.
12. Koole, G.M., and Mandelbaum, A., "Queueing models of call centers: an introduction", 2002.
13. Ross, S., "Simulation". Third Edition, Academic Press, 2002.
14. Shapiro, A., "Stochastic programming by Monte Carlo simulation methods", 2001.
15. Van Mieghem, J.A., "Capacity management, investment and hedging: Review and recent developments", 2003.