

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



PERANAN, POTENSI, DAN TANTANGAN PENGEMBANGAN MODEL STOKASTIK DARI DISTRIBUSI BEREKOR TEBAL

Profesor Udjianna Sekteria Pasaribu
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Bandung

**Aula Barat ITB
29 Oktober 2022**

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung
29 Oktober 2022

Profesor Udjianna Sekteria Pasaribu

PERANAN, POTENSI, DAN TANTANGAN
PENGEMBANGAN MODEL STOKASTIK
DARI DISTRIBUSI BEREKOR TEBAL



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: PERANAN, POTENSI, DAN TANTANGAN PENGEMBANGAN
MODEL STOKASTIK DARI DISTRIBUSI BEREKOR TEBAL
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 29 Oktober 2022.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Prof. Udjianna Sekteria Pasaribu
PERANAN, POTENSI, DAN TANTANGAN PENGEMBANGAN
MODEL STOKASTIK DARI DISTRIBUSI BEREKOR TEBAL
Disunting oleh Prof. Udjianna Sekteria Pasaribu

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2022

viii+92 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-6624-66-6

1. Statistika 1. Udjianna Sekteria Pasaribu

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, karena atas izin dan rahmatNya, naskah orasi ilmiah ini dapat diselesaikan. Penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada segenap pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung (FGB ITB) yang telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan orasi ilmiah ini pada Sidang Terbuka FGB ITB. Penyusunan naskah ini dilandasi oleh semangat berbagi pengalaman, wawasan serta motivasi untuk mempertinggi kualitas, sinergi dan nilai manfaat Tri Dharma Perguruan Tinggi dari insan ITB untuk masyarakat dan bangsa Indonesia.

Bagian pertama dari naskah orasi ini dimulai dengan pendahuluan terkait studi mendalam fungsi kesintasan dan alasan distribusi berekor sangat selaras dengan berbagai fenomena/fakta yang terjadi. Bagian dua berisi pembahasan studi tentang distribusi ekor tebal. Dilanjut dengan peranan distribusi ekor tebal di bidang garansi dan asuransi. Naskah akademik ditutup oleh pemaparan potensi pengembangan dan tantangan model stokastik dari distribusi ekor tebal khususnya distribusi Kumaraswamy.

Kesempatan meraih jabatan guru besar bukanlah hasil pekerjaan individual semata, namun sangat dipengaruhi dan bergantung pada dukungan semua pihak: dosen dan kolega peneliti di lingkungan

keilmuan Matematika khususnya rekan-rekan di kelompok keilmuan Statistika, dan FMIPA ITB, tenaga kependidikan, mahasiswa, sistem dan atmosfer akademik, serta sistem pengelolaan sumber daya di ITB.

Penulis juga mengucapkan terima kasih serta doa tulus kepada kepada (almarhum) Papih dan Mamih yang selalu mendukung dan mendoakan penulis berkarir di ITB. Juga kepada suami tercinta Adi Pancoro dan anak-anak Tagentar-Irma, Ilham-Egidia, dan Erlang.

Semoga tulisan ini dapat menambah wawasan, inspirasi dan bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 29 Oktober 2022

Udjianna Sekteria Pasaribu

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
SINOPSIS	vii
1. PENDAHULUAN	1
2. DISTRIBUSI EKOR TEBAL	11
3. PERANAN DISTRIBUSI EKOR TEBAL	31
3.1 Asuransi Kendaraan Dan Garansi	31
3.2 Nilai Umur Pelanggan	44
4. POTENSI PENGEMBANGAN MODEL STOKASTIK DARI DISTRIBUSI EKOR TEBAL	48
4.1 Keluarga Distribusi Kumaraswamy	48
4.2 Distribusi Berekor Pada Asuransi	53
4.3 Nilai Umur Konsumen 3 (tiga) Keadaan	54
4.4 Korosi Pada Pipa Penyalur	56
5. TANTANGAN	59
5.1 Penelitian	59
5.2 Pengabdian Masyarakat Dan Pengembangan Institusi	61
6. PENUTUP	63
7. UCAPAN TERIMA KASIH	64
DAFTAR PUSTAKA	68
CURRICULUM VITAE	73

SINOPSIS

Dalam ilmu statistika, fungsi distribusi dari peubah acak adalah salah satu ukuran yang dapat menjelaskan penyebaran data. Melalui fungsi distribusi ini diharapkan dapat tergambar karakteristik-karakteristik dari data yang diolah, dianalisis, dan diteliti. Semakin baik model distribusi merepresentasikan data, maka semakin banyak karakteristik/informasi, berupa pemusatan, penyebaran, kemencengan, dan kelancipan yang dapat diperoleh mengenai data tersebut.

Penggunaan model distribusi Normal yang memiliki sebaran data simetris sangatlah populer. Kepopuleran ini disebabkan kemudahan dan kesederhanaan yang dimiliki distribusi Normal. Pada kenyataannya banyak data memiliki sebaran tidak simetris, dengan kata lain, distribusi Normal kurang baik dalam merepresentasikan data tersebut. Jenis-jenis data yang jauh dari normal umumnya berupa umur hidup, (total) besar klaim, harga saham dan lain sebagainya. Tipe data seperti ini memiliki sebaran data berekor tebal. Penerapan teorema limit pusat Normal pada tipe data seperti di atas tidak mampu menangkap datum-datum yang ekstrem. Situasi ini akan menyebabkan meningkatnya risiko kesalahan dalam pengambilan keputusan atau bahkan terpilihnya keputusan yang salah.

Secara teoritis, definisi atau pemahaman fungsi distribusi berekor tidak tunggal. Naskah ilmiah ini memilih definisi yang sederhana yaitu

didasarkan pada barisan, melalui limit supremum. Sebagai contoh, dibahas distribusi Gompertz yang banyak digunakan praktisi aktuaria Indonesia, dan Weibull yang banyak digunakan di bidang rekayasa. Selanjutnya dipaparkan aplikasi mulai dari waktu antar laporan pelanggaran UU Informasi dan Transaksi Elektronik ITE di Polda Jabar dan Polrestaes Bandung sampai klaim asuransi kebakaran harta benda 2010-2016. Peranan distribusi ekor ini dijelaskan dari bidang garansi dan asuransi. Mengingat dasar-dasar model statistika-matematika di bidang garansi dan asuransi jiwa serupa, peranan distribusi berekor Weibull dibahas masing-masing pada garansi satu dan dua dimensi dan penetapan nilai premi asuransi jiwa.

Potensi teoritis dan numerik adalah pengembangan distribusi keluarga Kumaraswamy dan/atau gabungan distribusi Kumaraswamy dan distribusi konvensional yang umumnya dipakai praktisi Indonesia. Hal ini harus menjadi prioritas misalkan dalam pembuatan Tabel Mortalitas Indonesia. Selanjutnya, perlu dikembangkan dua jenis distribusi di atas pada data-data satelit, sisa umur, kerusakan (*failure*), gempa bumi, dll. Tantangan ke depan ialah membangun algoritma mulai dari olah data berekor, yang banyak terjadi di Indonesia, sampai ke langkah statistika inferensinya. Pemanfaatan distribusi berekor yang telah dan sedang dilakukan KK Statistika ITB antara lain: 1) korosi pada pipa penyalur minyak, 2) pembuatan Tabel Mortalitas Ketenagakerjaan 2017, dan 3) penetapan premi kebakaran harta benda.

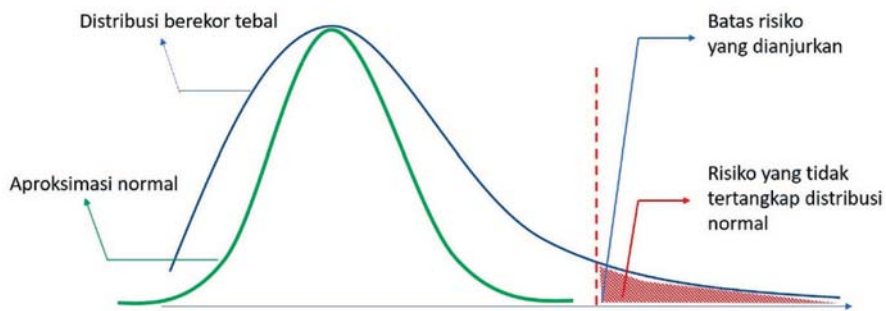
PERANAN, TANTANGAN DAN POTENSI PENGEMBANGAN MODEL STOKASTIK DARI DISTRIBUSI BEREKOR TEBAL

1. PENDAHULUAN

Studi mendalam fungsi kesintasan merupakan salah satu aspek yang berperan penting di berbagai disiplin ilmu, antara lain biologi, fisika, aktuarial/perasuransian, ekonomi, sains kedokteran, sains komputasi, ilmu sosial maupun rekayasa. Para praktisi khususnya aktuaris dan insinyur atau pihak yang menerapkan model matematik seringkali menggunakan model-model yang dapat memprediksi pola kesintasan/keandalan/ketahanan dari manusia sebagai makhluk hidup, atau entitas lain misal kendaraan atau alat elektronik. Selanjutnya model-model tersebut juga digunakan dalam bidang keuangan dan manajemen risiko. Sebagai contoh para aktuaris juga menghitung nilai finansial berkaitan dengan sisa hidup individu, perencanaan pensiun, dan perlindungan kerugian pendapatan (*income loss coverage*) berdasarkan fungsi kesintasan. Salah satu masalah utama dalam menentukan model prediksi tersebut adalah penentuan distribusi yang sesuai.

Di pihak lain, dalam kuliah-kuliah pengantar teori peluang dan analisis statistika lainnya menganggap Teorema Limit Pusat (TLP) menjadi primadona (*prominent role*). Pengajaran-pengajaran tersebut memberikan impresi bahwa kita akan cenderung untuk mengasumsikan /menemukan distribusi Gauss (Normal) di mana pun khususnya saat

berhadapan dengan data. Sehingga distribusi-distribusi berekor dianggap kurang penting peranannya dalam aplikasi. Tetapi pada kenyataannya dalam mengukur risiko, distribusi normal tidak lagi sesuai. Hal ini dikarenakan data risiko tersebut pada umumnya memiliki sebaran yang tidak simetris sehingga distribusi berekor lebih sesuai dengan perilaku data tersebut. Sebagai contoh distribusi Gompertz yang dapat menangkap ketidaksimetrisan data banyak dibahas di buku-buku *survival model* untuk aktuaris. Demikian juga distribusi Weibull untuk bidang rekayasa. Dua distribusi berekor tersebut sudah dipelajari sejak seabad yang lalu. Kita perlu berhati-hati dalam menggunakan aproksimasi distribusi normal terutama untuk data yang distribusinya tidak simetris. Hal ini dapat diilustrasikan seperti dalam Gambar 1.1.



Gambar 1.1: Aproksimasi distribusi tak simetris berekor tebal dengan distribusi normal

Terlihat dalam Gambar 1.1 bila aproksimasi normal digunakan maka risiko yang seharusnya dapat terjadi tidak tertangkap. Hal ini dapat mengakibatkan kerugian yang cukup serius bila data tersebut

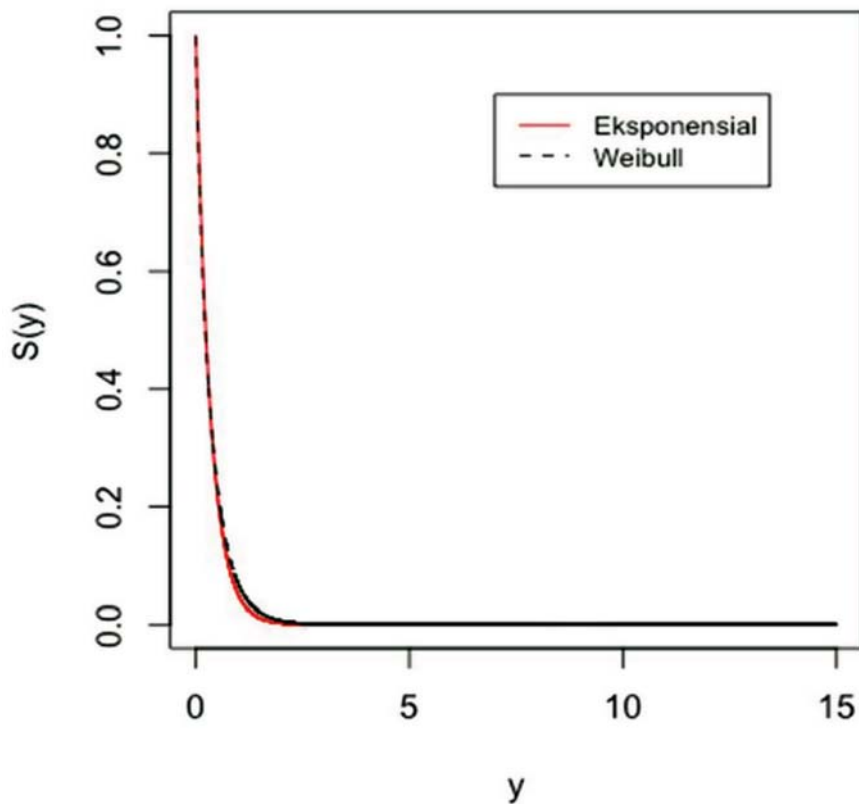
merepresentasikan besar klaim yang harus dibayarkan oleh perusahaan asuransi terkait.

Sekarang haruslah kita berpikir untuk menemukan fenomena-fenomena alam yang dapat digambarkan oleh distribusi berekor (Nair, dkk., 2022). Dengan kata lain, yang lebih normal adalah distribusi yang lebih dari Normal. Secara teoritis, di dalam penjumlahan peubah acak distribusi yang berekor tebal sering dihindari. Hal ini karena distribusi tersebut dianggap distribusi yang sulit, mengagetkan (tidak dianggap penting karena sudah ada TLP), misterius (fungsinya seringkali asing dan secara intuisi sulit dijelaskan), dan kontroversial (dapat menciptakan ilmu baru untuk memenuhi sifat-sifat pada ekor). Mereka mendefinisikan distribusi berekor tebal sebagai berikut. Suatu fungsi distribusi F dikatakan berekor tebal jika dan hanya jika

$$\limsup_{y \rightarrow \infty} \frac{1 - F(y)}{e^{-\lambda y}} = \infty$$

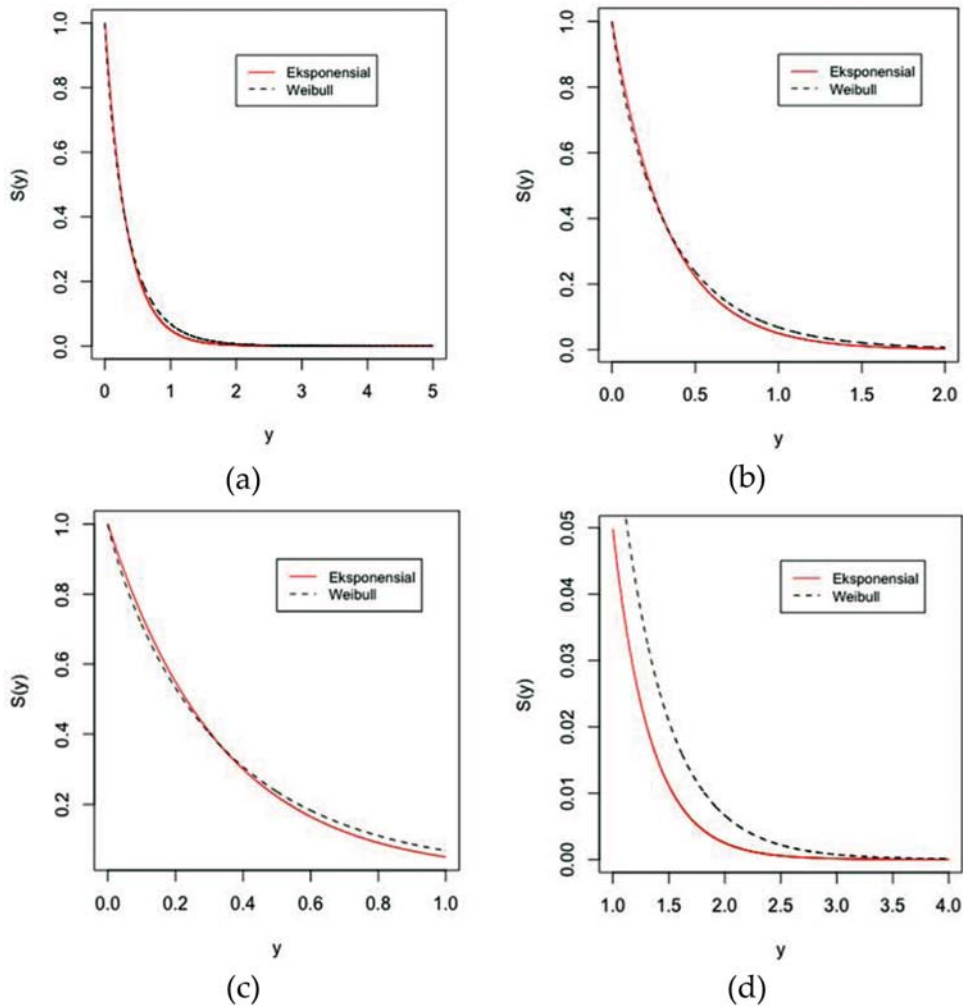
dan sebaliknya berekor tipis. Suatu peubah acak Y disebut berekor tebal (berekor tipis) jika fungsi distribusinya berekor tebal (berekor tipis).

Gambar-gambar berikut mengilustrasikan fungsi kesintasan $S(y) = 1 - F(y)$ untuk distribusi Weibull terhadap fungsi kesintasan distribusi Eksponensial, tidak lain $S(y) = e^{-\lambda y}$.



Gambar 1.2: Fungsi kesintasan distribusi Weibull dan eksponensial

Perhatikan bahwa, untuk selang $0 < y < 15$, dua fungsi tersebut tidak bisa dilihat perbedaannya secara kasat mata di Gambar 1.2. Oleh karena itu dilakukan perbesaran untuk selang-selang $0 < y < 5$, $0 < y < 2$, $0 < y < 1$, dan $1 < y < 4$ berturut-turut pada Gambar 1.3(a) sampai Gambar 1.3(d).



Gambar 1.3: Fungsi kesintasan distribusi Weibull dan eksponensial untuk berbagai selang nilai peubah acak

Terlihat pada gambar-gambar tersebut bahwa penurunan nilai kesintasan distribusi Weibull lebih lambat dari nilai kesintasan distribusi eksponensial. Sehingga distribusi Weibull termasuk distribusi ekor tebal.

Dalam aplikasinya, sudah banyak praktisi dan ilmuwan Indonesia

menggunakan distribusi berekor tebal, contohnya di bidang garansi 1D dan 2D dan asuransi umum digunakan distribusi Weibull (Iskandar, 1992; Lewaherilla, dkk., 2016). Lebih dari itu, dari segi statistik-matematik telah dikembangkan TLP yang berdasarkan distribusi berekor.

Pada teori keputusan yang melibatkan statistika inferensi dan analisa data khususnya di era *big data*, hasil-hasil dari asumsi data berekor memberikan keputusan yang sangat baik. Hal penting yang perlu digaris bawahi adalah keakuratan dari suatu distribusi merefleksikan data. Distribusi-distribusi klasik telah banyak digunakan di fenomena-fenomena alam khususnya dalam memodelkan data pada beberapa bidang yang telah disebutkan di atas. Perlu pengembangan dan pendalaman untuk distribusi-distribusi berekor lain khususnya di luar distribusi Gompertz (1825), Gompertz-Makeham (1860), Pareto (1906), Weibull (1951) karena keterbatasannya. Salah satunya menggunakan ide yang dikenalkan oleh Poondi Kumaraswamy.

Pada tahun 1980, Kumaraswamy merumuskan distribusi berekor untuk menyelesaikan masalah di bidang hidrologi. Ia mendefinisikan peubah acak baru berekor tebal sebagai fungsi dari peubah acak berekor yang banyak dikenal saat itu yaitu Beta. Distribusi Beta itu sendiri bisa berekor maupun tidak. Pascoa, dkk. (2011) memanfaatkan distribusi ini untuk analisis kesintasan. Selanjutnya, Rocha dkk. 2017 mengikuti langkah Pascoa dkk. dalam mengelola data kanker melanin. Sedangkan Mdlongwa dkk. (2019) memodifikasi distribusi tersebut agar bisa

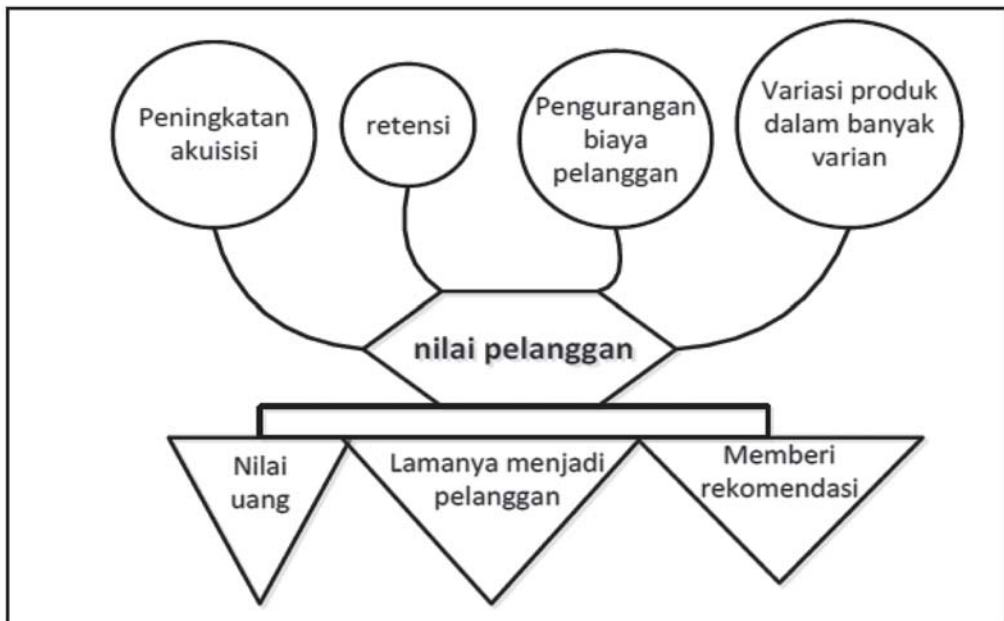
diterapkan untuk memodelkan waktu hidup (*lifetime*).

Di banyak perusahaan, alat ukur untuk menilai bagaimana posisi bisnisnya di benak pelanggannya telah umum digunakan. Alat ukur tersebut dikenal sebagai Nilai Umur Pelanggan disingkat *CLV* (*Customer Life Value*). Blattberg dkk. (2009) menyampaikan bahwa menurut manajemen nilai pelanggan (*customer value management*) ada 4 (empat) faktor yang harus diperhatikan: (1) peningkatan akuisisi pelanggan baru, (2) retensi pelanggan, (3) pengurangan biaya pelanggan, dan (4) pembagian produk dalam bermacam-macam varian guna meningkatkan penjualan pada setiap lapisan konsumen.

Uncles dkk. (2013) menyatakan bahwa nilai seorang konsumen didasarkan pada tiga faktor, yaitu:

- (1) seberapa besar nilai uang yang dia keluarkan untuk membeli suatu produk,
- (2) berapa lama dia akan menjadi pelanggan tetap yang rutin membeli produk tersebut, dan
- (3) berapa banyak dia akan merekomendasikan produk itu pada orang lain.

Keterkaitan 3 (tiga) faktor nilai pelanggan dari Uncles ini dan empat faktor dari Blattberg di atas diilustrasikan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4: Faktor-faktor yang diperhatikan dalam nilai pelanggan.

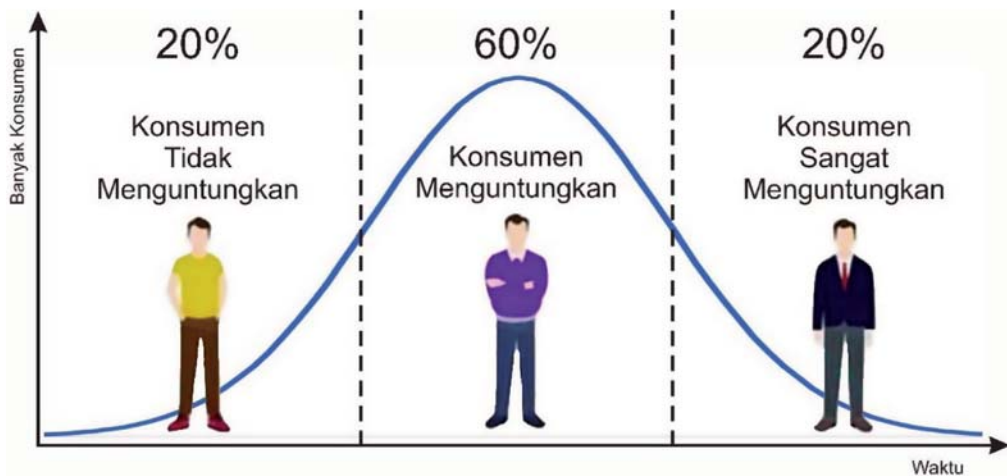
Selanjutnya pernyataan Uncles di atas bisa dinyatakan secara sederhana sebagai berikut:

$CLV = \text{Rata-rata nilai transaksi} \times (\text{waktu retensi} \times \text{banyaknya transaksi dalam satu tahun})$

Jadi nilai umur pelanggan CLV berkaitan dengan ‘pendapatan’ yang akan perusahaan terima dari pelanggan (konsumen). Hal yang sangat menarik adalah CLV juga mempertimbangkan periode retensi waktu yang tidak lain adalah interaksi pelanggan dengan bisnis. Mereka yang melakukan pembelian produk berulang dalam jangka waktu lama akan punya nilai lebih tinggi dibandingkan yang pendek/sebentar.

Kahreh dkk. (2014) menyebutkan bahwa setiap segmen konsumen

akan berkorespondensi dengan kebutuhan pembiayaan pemasaran yang berbeda. Perusahaan dapat memberikan perhatian lebih pada beberapa segmen konsumen yang dianggap berpotensi tinggi di masa depan.



Gambar 1.5: Segmentasi pelanggan.

Salah satunya adalah seperti Gambar 1.5; terdapat 20% pelanggan yang tidak memberikan keuntungan, 60% pelanggan memberikan keuntungan rata-rata, dan 20% pelanggan memberikan keuntungan di atas rata-rata. Pada umumnya distribusi penyebaran keuntungan pelanggan di atas tidaklah simetris dan memiliki distribusi berekor.

Segmen-segmen konsumen tersebut dapat saling berhubungan mengikuti proses stokastik Rantai Markov (RM). Permana (2017) telah meneliti segmen-segmen pelanggan tersebut, dengan mendefinisikannya sebagai status-status yang dilalui oleh seorang konsumen. Masing-masing

status ini merupakan suatu ruang keadaan diskret sedangkan indeks parameternya adalah waktu proses yang berjalan secara diskret juga (umumnya per-tahun). Perpindahan antar status konsumen merupakan suatu peubah acak yang mengikuti RM. Sehingga perhitungan *CLV* dilakukan melalui suatu model stokastik.



Gambar 1.6: Tujuh manfaat Nilai Umur Pelanggan CLV

RM adalah suatu model stokastik yang saat ini sudah banyak digunakan dan dikembangkan untuk mempelajari distribusi dari perubahan-perubahan yang terjadi di alam baik untuk benda mati atau benda hidup. Perubahan yang terjadi berlangsung secara terus menerus

dan seolah-olah acak. Padahal sebenarnya perubahan tersebut terjadi secara sistematis. Terdapat paling sedikit 7 (tujuh) kemanfaatan dari *CLV* ini. Kemanfaatan-kemanfaatan tersebut dapat dipelajari dalam Gambar 1.6.

2. DISTRIBUSI EKOR TEBAL

Banyak definisi yang telah diberikan oleh para matematikawan atau statistikawan mengenai distribusi ekor tebal dari suatu peubah acak tak negatif Y . Prinsip limit inferior dapat dikembangkan dengan membandingkan nilai limit inferior dari fungsi kesintasan Y terhadap fungsi kesintasan distribusi eksponensial. Secara matematis Y akan memiliki ekor tebal jika:

$$\liminf_{y \rightarrow \infty} S(y) > \liminf_{y \rightarrow \infty} e^{-\lambda y}$$

dengan $S(y)$ adalah fungsi kesintasan Y . Sedangkan untuk distribusi ekor tipis digunakan perbandingan nilai limit superior sebagai berikut.

$$\limsup_{y \rightarrow \infty} S(y) < \limsup_{y \rightarrow \infty} e^{-\lambda y}$$

Perhatikan bahwa untuk distribusi eksponensial $S(y) = e^{-\lambda y}$, dengan $\lambda \geq 0$ adalah laju dari distribusi eksponensial.

Minkova (2010) mendefinisikan bahwa tebal (tipis) distribusi peubah acak dapat ditentukan melalui perbandingan fungsi kesintasan $S(y)$ dengan fungsi kesintasan distribusi eksponensial, yaitu $\frac{S(y)}{e^{-\lambda y}}$. Ia tetapkan dua kondisi sebagai berikut.

1. Distribusi Y berekor tebal jika $\liminf_{y \rightarrow \infty} \frac{S(y)}{e^{-\lambda y}} = \infty$
2. Distribusi Y berekor tipis jika $\limsup_{y \rightarrow \infty} \frac{S(y)}{e^{-\lambda y}} < \infty$

Jika Y berdistribusi Gompertz, artinya laju (*hazard*) memenuhi $\lambda(y) = \alpha\beta^y$ dan fungsi kesintasannya $S(y) = e^{-\frac{\alpha(\beta^y-1)}{\ln\beta}}$, untuk $\alpha > 0$ dan $\beta > 1$, maka distribusi Y memiliki ekor tipis. Berdasarkan definisi dari Minkova di atas didapatkan

$$\limsup_{y \rightarrow \infty} \frac{S(y)}{e^{-\lambda y}} = \limsup_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{-\frac{\alpha(\beta^y-1)}{\ln\beta}}}{e^{-\lambda y}} = e^{\frac{\alpha}{\ln\beta}} \limsup_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{-(\beta^y-1)}}{e^{-\lambda y}} = e^{\frac{\alpha}{\ln\beta}} \limsup_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{\lambda y}}{e^{(\beta^y-1)}}$$

Untuk $y \rightarrow \infty$, dengan $\beta > 1$ tentu saja nilai dari $e^{(\beta^y-1)}$ akan lebih cepat menuju tak hingga sehingga $\limsup_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{\lambda y}}{e^{(\beta^y-1)}} = 0$. Gambar 2.1

menunjukkan contoh untuk $\alpha = 1$ dan $\beta = 2$, sehingga $S(y) = e^{-\frac{(2^y-1)}{\ln 2}}$ (warna hitam) dan $\lambda = 1$ pada eksponensial artinya $S(y) = e^{-y}$ (warna biru) terlihat bahwa untuk $y > 10$ akan menuju nol.

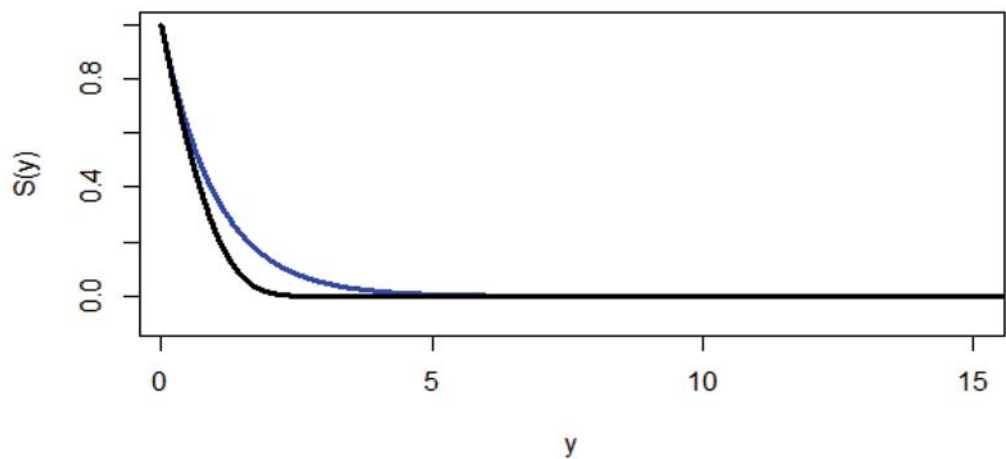
Selanjutnya, jika Y berdistribusi Weibull dengan laju $\lambda(y) = \alpha y^{\beta}$ dan $S(y) = e^{-(\beta y)^{\alpha}}$, untuk $\beta > 0$, maka didapatkan

$$\liminf_{y \rightarrow \infty} \frac{S(y)}{e^{-\lambda y}} = \liminf_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{-(\beta y)^{\alpha}}}{e^{-\lambda y}} = e^{\beta^{\alpha}} \liminf_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{-y^{\alpha}}}{e^{-\lambda y}} = e^{\beta^{\alpha}} \liminf_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{\lambda y}}{e^{y^{\alpha}}}$$

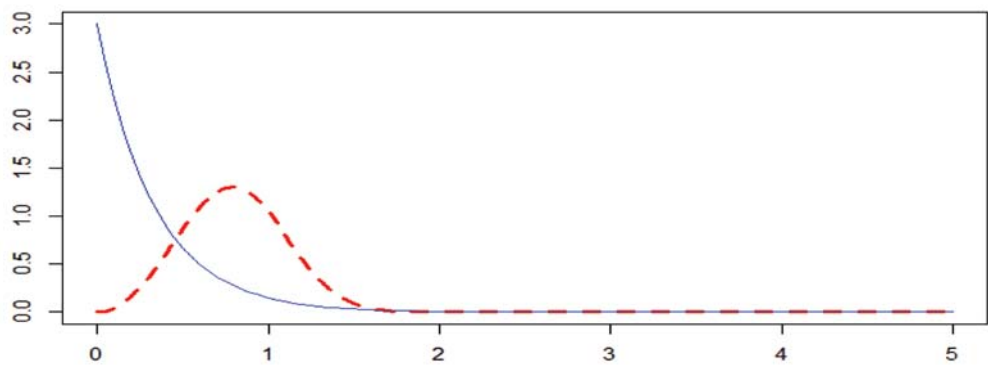
Untuk $y \rightarrow \infty$, nilai dari $e^{\beta^{\alpha}} \liminf_{y \rightarrow \infty} \frac{e^{\lambda y}}{e^{y^{\alpha}}} = \begin{cases} \infty, & \text{untuk } 0 < \alpha < 1 \\ 0, & \text{untuk } \alpha \geq 1 \end{cases}$. Dengan

kata lain, Y memiliki ekor tebal untuk sebarang parameter bentuk $\beta > 0$ dengan parameter skala $0 < \alpha < 1$, dan tipis untuk $\alpha \geq 1$. Gambar 2.2 adalah contoh fungsi padat peluang (f.p.p.) berdistribusi Weibull berekor

tebal dengan $\alpha = 3$ dan $\beta = 0,9$ (garis merah putus-putus) dan eksponensial dengan $\lambda = 3$ (garis biru).



Gambar 2.1: Grafik fungsi kesintasan Gompertz terhadap fungsi kesintasan eksponensial. Untuk Gompertz $S(y) = e^{-\frac{(2^y-1)}{\ln 2}}$ (warna hitam) dan untuk eksponensial $S(y) = e^{-y}$ (warna biru).



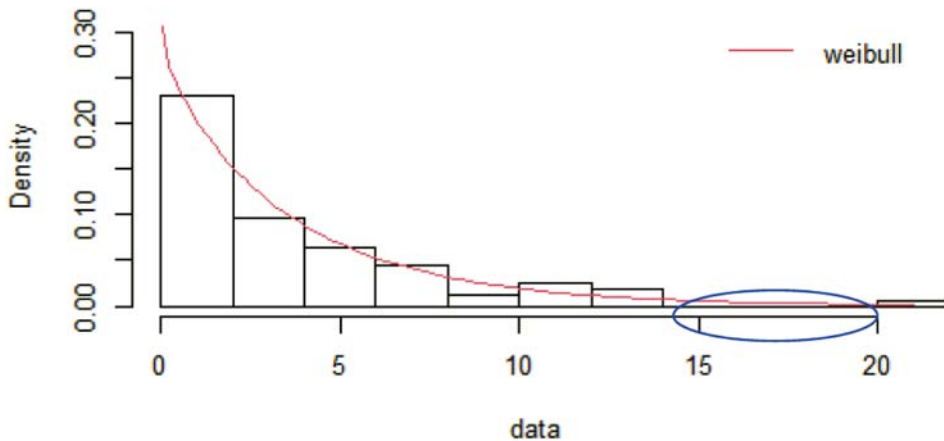
Gambar 2.2: Grafik distribusi Weibull terhadap distribusi eksponensial. Fungsi padat peluang Weibull $f(y) = 0,9(3y)^{0,9-1}e^{-(3y)^{0,9}}$ (garis putus merah) berada di atas fungsi padat peluang eksponensial $f(y) = 3e^{-3y}$ (garis biru) yang menandakan bahwa distribusi Weibull memiliki ekor tebal.

Pemanfaatan dari distribusi berekor telah banyak dilakukan. Sebagai contoh, Jihaduddin (2022) menerapkan distribusi Weibull untuk waktu antar laporan (WAL) dari pelanggaran UU Informasi dan Transaksi Elektronik ITE masing-masing di Polda Jawa Barat dengan banyaknya datum 78 dan Polrestabes Bandung 79 datum.

Penerapan Weibull wajar karena beberapa pelapor berangkat ke kantor polisi, umumnya ke SPKT (Sentra Pelayanan Kepolisian Terpadu), setelah mempertimbangkan banyak hal. Ada 2 (dua) hal penting yang harus dilakukan oleh pelapor di SPKT yaitu

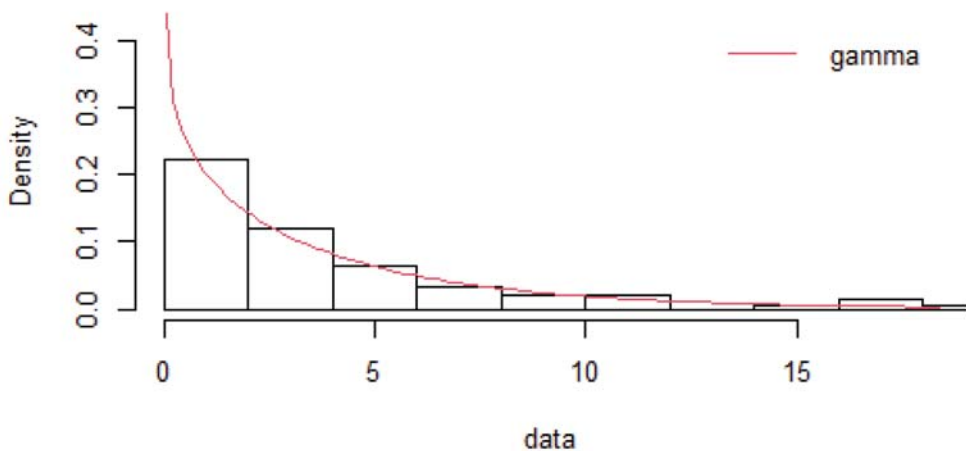
- (1) Membuat laporan kejadian dengan jelas dan tepat, yaitu yang berkaitan dengan waktu, kronologi serta tempat kejadian.
- (2) Membawa bukti yang kuat dan relevan, bisa berupa bukti visum (atau luka), foto, dan/atau video.

Data WAL untuk pelaporan yang terjadi di Polda dan Polrestabes Jawa Barat tentu saja bernilai positif dan kontinu. Menurut Rausand dan Hoyland (2004) terdapat tiga distribusi yang dapat digunakan untuk data waktu yang bernilai positif dan kontinu yaitu distribusi Gamma, Weibull, dan Lognormal.



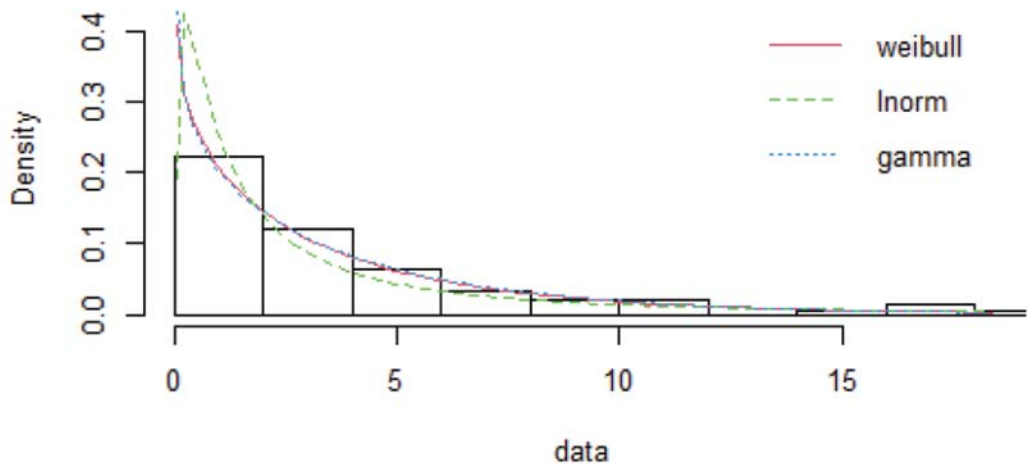
Gambar 2.3: Pencocokan distribusi Weibull untuk WAL dari POLDA.

Terlihat bahwa fungsi padat peluang Weibull $f(y) = \alpha\beta y^{\beta-1} e^{-\alpha y^\beta}$ dengan skala $\alpha = 3,788$ dan bentuk $\beta = 0,965$ (warna merah) bisa menghampiri histogram untuk waktu antar laporan (WAL) Polda dengan baik dan menunjukkan ekor tebal.



Gambar 2.4: Pencocokan distribusi Gamma untuk WAL Polrestabes.

Terlihat bahwa f.p.p. Gamma $f(y) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} y^{\alpha-1} e^{-\beta y}$ dengan skala $\alpha = 0,217$ dan bentuk $\beta = 0,824$ dan (warna merah) bisa menghampiri histogram untuk waktu antar laporan (WAL) Polrestabes dengan baik dan menunjukkan ekornya.

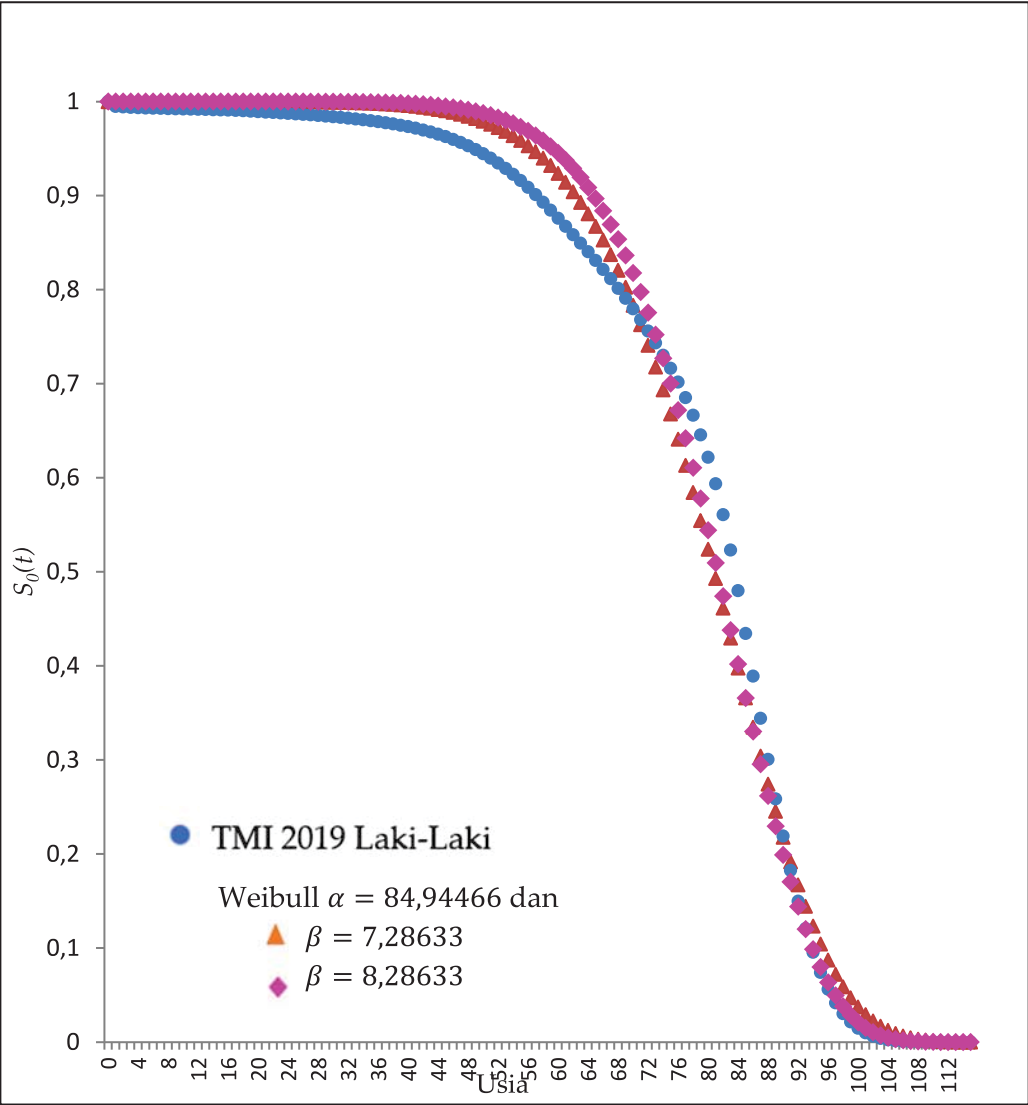


Gambar 2.5: Histogram WAL Polrestabes yang dicocokkan dengan distribusi Weibull, Gamma, dan Lognormal dengan parameter yang telah diperoleh.

Berikutnya Gambar 2.6 adalah pencocokkan distribusi Weibull dengan α yang tetap tetapi β yang berbeda untuk Tabel Mortalita Indonesia (TMI) 2019 dari 100.000 sampel laki-laki yang diamati. Terlihat bahwa data TMI laki-laki 2019 berada di bawah distribusi Weibull dengan $\alpha = 84,94466$ dan $\beta = 7,28633$ (segitiga jingga) dan $\beta = 8,28633$ (*diamond* merah muda) hingga usia > 70 tahun. Posisi menjadi terbalik yaitu distribusi Weibull jadi berada di atas. Jika diamati hingga usia 115 tahun terlihat bahwa terdapat titik potong kembali antar ketiganya pada usia > 90 tahun menjadi kembali ke posisi awal yakni posisi berada di bawah distribusi Weibull dengan dua parameter yang berbeda.

Distribusi Weibull cukup representatif sesuai harapan, tetapi jika diperhatikan dengan seksama, distribusi ini harus dicocokkan untuk selang waktu tertentu. Misal $0 < t < 17$, $17 < t < 30$, dan $t > 30$ dengan

parameter α dan β diperbaiki untuk masing-masing selang.



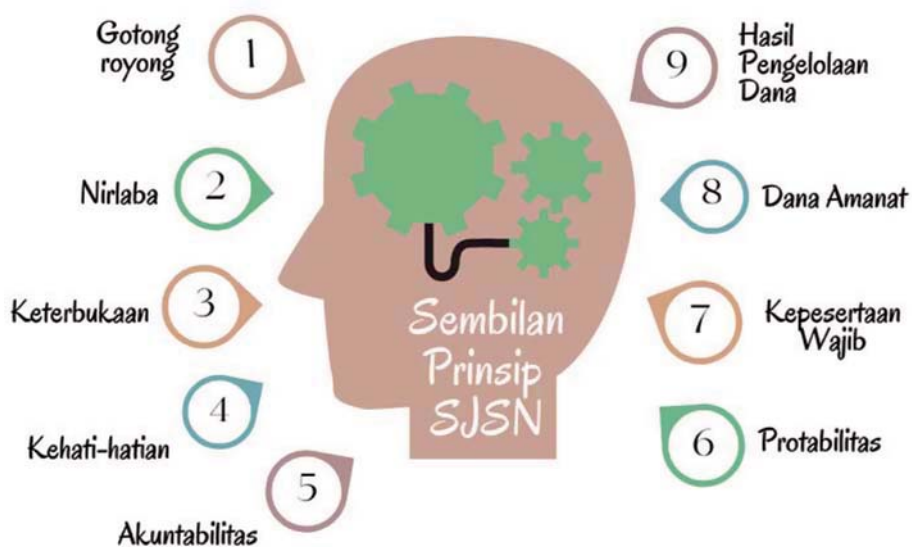
Gambar 2.6: Perbandingan model Weibull awal dengan model Weibull dengan nilai α yang tetap dan nilai β berbeda.

Dalam bidang aktuaria asuransi jiwa banyak praktisi yang mencocokkan distribusinya hanya merubah parameter (skala dan bentuk) dari distribusi terpilih untuk mencocokkan ke data empiris sisa umur individu atau perlindungan kerugian pendapatan. Di pihak lain, Dick London (1997) mengusulkan untuk mencocokkan bukan dari fungsi kesintasan $S(y)$ tetapi dari laju $\lambda(y)$ dalam langkah awal mencocokkan terhadap data sisa hidup atau umur individu. Ia mengusulkan 3 (tiga) distribusi yang terkenal di bidang aktuaria yaitu eksponensial, Gompertz, dan Weibull dalam laju masing-masing sebagai berikut

1. Eksponensial, $\lambda_{exp}(y) = \lambda, \lambda \geq 0$
2. Gompertz, $\lambda_{Gmptz}(y) = \alpha\beta^y, y \geq 0, \alpha > 0, \beta > 1$
3. Weibull, $\lambda_{Wei}(y) = \alpha y^\beta, y \geq 0, \alpha > 0, \beta > -1$

dengan λ adalah parameter distribusi eksponensial dan α dan β masing-masing adalah parameter skala dan bentuk. Bentuk umum $\lambda_{Gmptz}(y)$ yakni $\lambda_{Gmptz}(y) = \gamma + \alpha\beta^y$ disebut laju Gompertz-Makeham atau Makeham saja.

Di pihak lain, Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) sebagai kepanjangan dari pemerintah dalam melaksanakan program negara Jaminan Sosial (JS) untuk seluruh rakyat diminta untuk membuat program Jaminan Kehilangan Pekerjaan (JKP). BPJS harus patuh pada 9 (sembilan) prinsip Sistem Jaminan Sosial Nasional (SJSN) seperti pada Gambar 2.7.



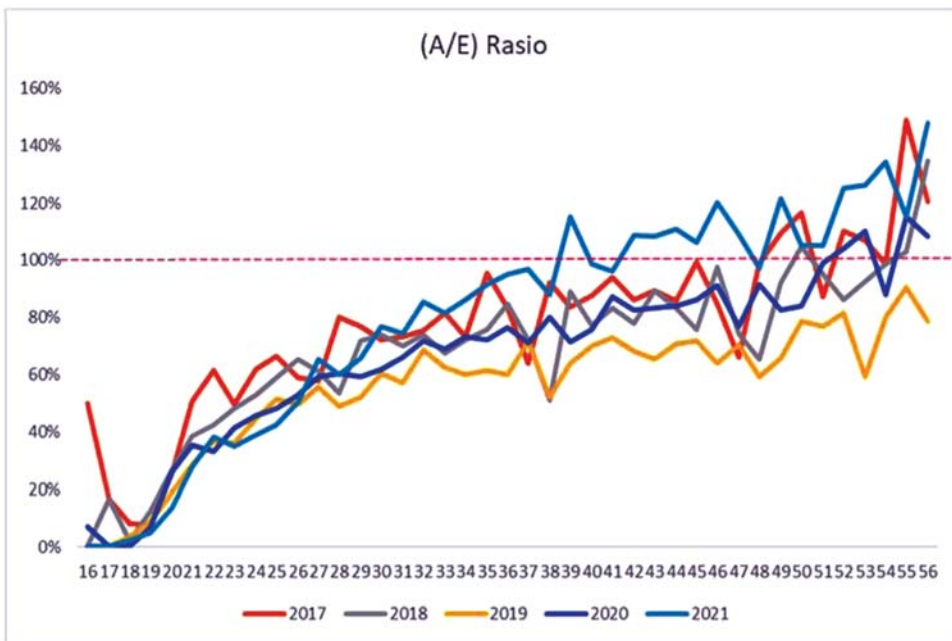
Gambar 2.7: Sembilan prinsip SJSN

Sembilan prinsip ini akan menghasilkan program jaminan sosial yang memenuhi 4 (empat) aspek: keterjangkauan, ketercukupan secara manfaat, efektivitas dan efisien serta berkelanjutan. Salah satu bentuk kegiatannya adalah menjalankan fungsi evaluasi terhadap kondisi keuangan program baik saat ini atau di masa depan melalui penilaian aktuaria. Tentu saja, semua perhitungan aktuaria yang dilakukan membutuhkan tabel mortalita yang mewakili peserta BPJS. Dalam 15 tahun terakhir, BPJS telah mengeluarkan 2 (dua) tabel mortalitas yang disebut 1) Tabel Mortalita Jamsostek 2010/TMJ-10 menggunakan model kesintasan yang dimodifikasi oleh (alm.) Prof. Sunardi Wirjosudirdjo bersama KK Statistika ITB dan 2) TMJ-17. Sebelum 2000, KK Statistik ITB

telah bekerja sama dengan Jamsostek (sekarang BPJS) dan menyumbang model-model untuk pembuatan TMI. Model-model tersebut digunakan untuk menetapkan premi pada Jaminan Kecelakaan Kerja (JKK), Jaminan Hari Tua (JHT), Jaminan Pensiun (JP) untuk tenaga kerja khususnya yang bekerja lebih dari 3 (tiga) bulan di suatu perusahaan atau individu. Pada 25 April 2022, kembali BPJS melakukan FGD Review Tabel Mortalita BPJS Ketenagakerjaan Tahun 2017 (TMJ-17) secara bauran dan mengundang KK Statistika dan 2 diantaranya menjadi keynote speakers.

Tim BPJS menghitung dan merepresentasikan *Actual to Expected (A/E) Ratio*. Rasio ini membandingkan banyaknya kematian secara aktual terhadap estimasi banyaknya kematian yang berdasarkan asumsi-asumsi di TMJ-17. Sebagai studi kasus mereka pilih data kematian yang dihitung pada periode 2017-2021. Untuk data kepesertaan dipilih data peserta aktif periode 2016-2020. Ada 2 pekerjaan besar yang telah dilakukan tim tersebut dari hasil estimasi di (A/E) rasio yaitu:

- I. Membandingkan naik-turun dan pola dari (A/E) rasio masing-masing untuk 2017 s.d. 2021 khusus untuk usia produktif yaitu 16 sampai 56 tahun. Hasil tim BPJS ini disajikan dalam bentuk grafik dan di sini disajikan di Gambar 2.8.
- II. Membandingkan kesamaan dan beda dari 3 (buah) nilai (A/E) rasio berturut-urut untuk kelompok usia 16 s.d. 56 tahun, 15 s.d. 15-56 tahun, dan 15 s.d. 90 dari tahun 2017 sampai 2021 (saat masa pandemi). Hasilnya disajikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8: Grafik (A/E) rasio untuk usia 16-56 tahun. A/E rasio dihitung untuk periode pengamatan masing-masing di tahun 2017 (warna coklat), 2018 (abu-abu), 2019 (kuning), 2020 (biru tua), dan 2021 (biru muda). Untuk usia muda 16-21, 5 periode tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dan sangat *underestimate* (jauh dari 1). Nilainya kurang dari 40%. Harapannya rasio tersebut di sekitar nilai satu (garis putus-putus merah)

Berkaitan dengan Gambar 2.8, tim KK Statistik ITB menyampaikan:

- a. Untuk usia muda 16-21, 5 periode tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dan sangat *underestimate* (jauh dari 1). Nilainya kurang dari 40%. Harapannya rasio tersebut di sekitar nilai satu (garis putus-putus merah).
- b. Untuk usia di bawah 27 tahun untuk 3 tahun pertama pengamatan, 2017-2019, rata-rata (A/E) rasio masih di bawah 43%

yang bermakna jauh di bawah kematian secara aktual. Bahkan pada era pandemi (2020-2021), nilai (A/E) rasio juga masih *under expected*. (A/E) rasio di bawah 30%.

- c. Untuk usia 27 s.d. 56 tahun lebih mendekati nilai kematian aktual. Pada 2017-2019, nilai (A/E) rasio untuk selang usia tersebut adalah antara 67%-91%, artinya estimasi kematian hanya 9% di atas kematian secara aktual. Berbeda sekali di 2021, nilai rasio ini *over expected* melewati nilai yang diharapkan yaitu 100%, tepatnya 102%. Di masa pandemi ini, estimasi kematian hanya 2% di bawah kematian secara aktual.
- d. Cukup berbeda jika selang usia diperpendek, menjadi 30 s.d. 56 tahun. Covid 19 memberi pengaruh yang besar, karena kasus meninggal akibat virus ini meningkat di selang usia ini.

Selanjutnya, berkaitan dengan Gambar 2.9, dari (A/E) rasio untuk keseluruhan usia, TMJ-2017 masih cukup representatif untuk digunakan. Jika asumsi masa lapor kematian maksimal selama 5 tahun, untuk periode 2017, nilai (A/E) rasio untuk usia 16 s.d. 56 tahun adalah 87%, artinya hanya 13% kematian secara aktual lebih kecil dibandingkan estimasi kematian. Dari 2017 s.d. 2019 terjadi penurunan (A/E) rasio, kemudian meningkat kembali pada 2020 dan 2021. Untuk penurunan yang cukup mengagetkan adalah di 2019, terjadi penurunan yang besar 14% (untuk 16 s.d. 56 tahun; 15) dan 15% jika dibandingkan 2018. Tetapi jika dibandingkan dengan nilai estimasi, 34% dan 35%, perbedaan yang sangat

jauh. Berikutnya, tahun 2020 hampir sama dengan dua tahun sebelumnya, dan khusus di 2021, tercapai nilai 100% pada usia 15 s.d. 90 tahun.



Gambar 2.9: Perbandingan total (A/E) rasio. periode 2017 s.d 2021 untuk 3 kelompok usia 16 s.d 56 tahun, 15 s.d 56 tahun, dan 15 s.d 90 tahun.

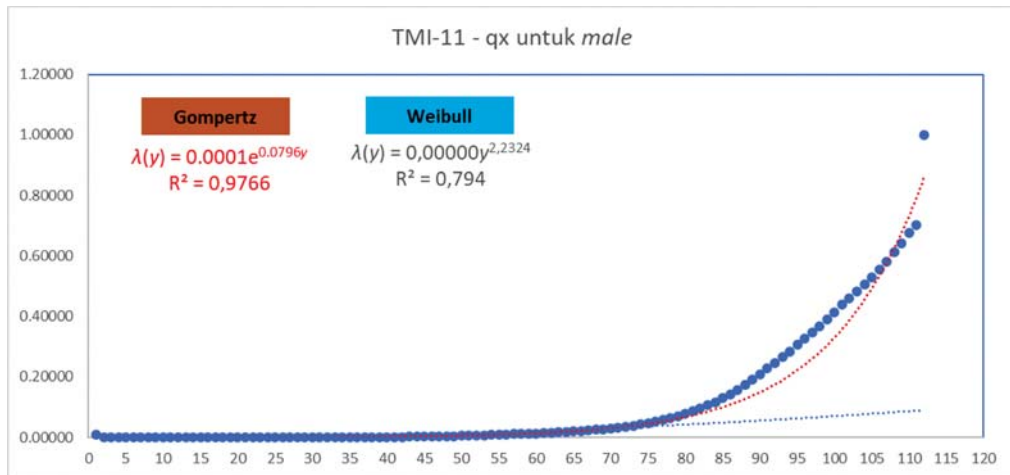
Jika proyeksi estimasi kematian di Indonesia dilakukan lebih dalam, khususnya mencocokkan (*fitting*) distribusi-distribusi yang sesuai dengan karakteristik penduduk Indonesia dan mencocokkannya di beberapa kelompok usia. Sebagai acuan awal, TMI 2011 bisa menjadi alternatif untuk menentukan kandidat model kesintasannya. Mengikuti London (1997), kandidat yang bisa dicocokkan di awal proses adalah Gompertz, Makeham, dan Weibull, yang mampu mengukur ada-tidaknya ekor pada data aktual. Hal penting yang perlu diingat adalah menghindari pencocokkan distribusi terpilih (juga dengan parameter taksiran terpilih) pada TMI 2011 untuk rentang usia yang panjang. Hal ini sesuai dengan

pengamatan pada Gambar 2.8 dan 2.9 dari BPJS di atas.

Sari dkk. (2022) mencoba mencocokkan TMI 2011 laki-laki berdasarkan kelompok usia. Sebagai langkah awal, tim membagi usia dalam 3 rentang kelompok yaitu: 0 s.d 15 tahun, 16 s.d 65 tahun, dan 65 tahun ke atas. Pembagian ini tentu saja didasarkan pada fakta, bentuk grafik peluang kematian TMI laki-laki secara keseluruhan yang disajikan pada Gambarkan 2.10, dengan titik putus-putus biru. Terlihat adanya:

- 1) Ekor di usia lebih dari 110 dengan proporsi cukup tinggi, lebih dari 20%.
- 2) Pada kelompok 0-15 tahun penurunan q_x bisa dianggap kecil sekali, 15-65 tahun kenaikan yang cukup linier. Berbeda dengan usia >65 tahun naik hampir 20 kali lipat.

Hal menarik yang dilakukan Sari dkk., mengadaptasi ide (alm.) Prof Sunardi Wirjosudirdjo di 1995, menganggap bahwa laju kematian dari laki-laki $\lambda(y)$ mengikuti model regresi linier sederhana. Untuk awal dipilih hanya 2 (dua) distribusi yaitu Gompertz dan Weibull, dengan masing-masing lajunya $\lambda_{Gmptz}(y) = \alpha\beta^y, y \geq 0, \alpha > 0, \beta > 1$ dan $\lambda_{Wei}(y) = \alpha y^\beta, y \geq 0, \alpha > 0, \beta > -1$.



Gambar 2.10: Pencocokan distribusi Gompertz dan Weibull pada data TMI 2011 laki-laki 0-111 tahun. Laju $\lambda_{Gmptz}(y) = 0,0001e^{0,0796y}$ dan $\lambda_{Wei}(y) = 0,000002y^{2,2324}$ ditaksir melalui metode regresi linier dengan usia dan nilai peluang kematian pada TMI 2011 sebagai variabel independen dan respon.

Dengan mencoba beberapa nilai α dan β , terpilih model Gompertz dengan parameter $\alpha = 0,0001$ dan $\beta = e^{0,0796}$, dengan kata lain:

$$\lambda_{Gmptz}(y) = 0,0001e^{0,0796y}$$

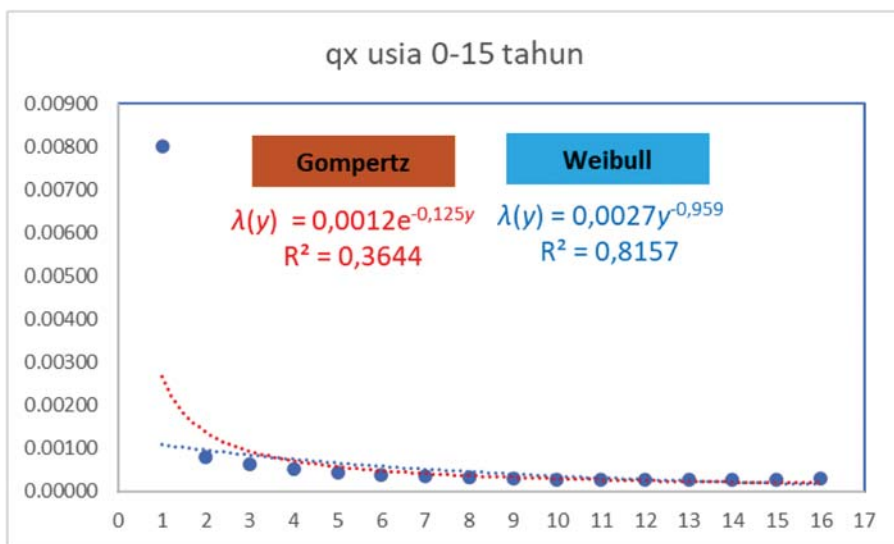
Dari hasil perhitungan, model ini adalah model Gompertz terbaik, kecocokan sebesar $R^2 = 97,66\%$. Plot dari perhitungan ini bisa dipelajari di Gambar 2.10, berupa titik putus-putus berwarna merah. Hal serupa dilakukan untuk model Weibull. Hasil perhitungan memberikan dengan parameter $\alpha = 2 \times 10^{-6}$ dan $\beta = 2,2324$, artinya

$$\lambda_{Wei}(y) = 0,000002y^{2,2324}$$

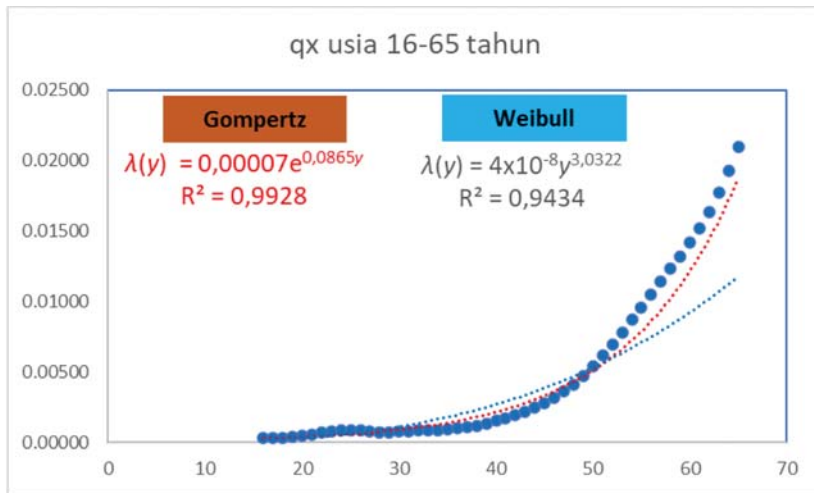
dengan $R^2 = 79,4\%$. Tentu saja model Gompertz jauh lebih baik dari Weibull. Hal ini juga ditunjukkan oleh Gambar 2.10. Hampiran Weibull, yaitu titik putus-putus berwarna biru, menghampiri TMI 2011 tidak

sedekat hampiran Gompertz yang berwarna merah. Hal ini terlihat nyata untuk usia lebih dari 80 tahun.

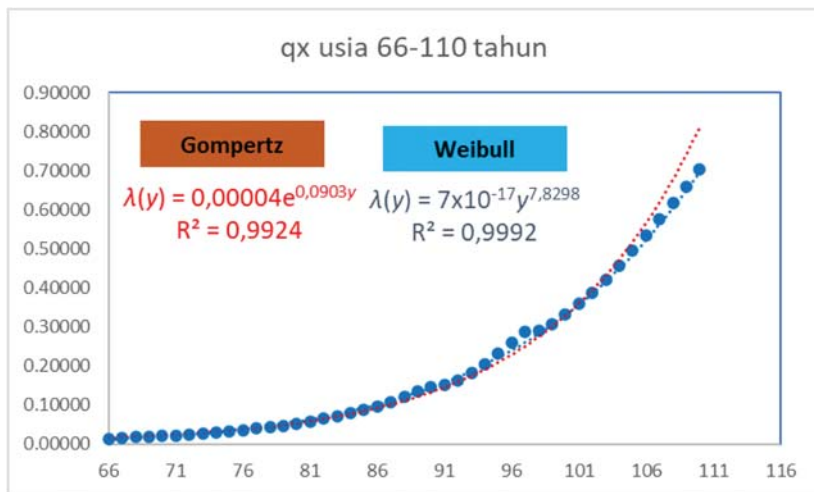
Perhatikan bahwa usia antara 65-75 tahun, dua model tersebut jauh di bawah peluang kematian TMI 2011. Khusus Gompertz, pada usia 107 tahun dapat menyusul peluang kematian TMI 2011. Hal ini menjadi dasar bahwa pemodelan harus dilakukan dengan membagi selang usia. Harapannya adalah keakuratan model dapat ditingkatkan di atas 80%. Gambar 2.11, 2.12, dan 2.13 masing adalah pencocokan laju dari Weibull dan Gompertz untuk TMI laki-laki untuk selang usia 0-15 tahun, 16-65 tahun, dan 66-111 tahun berturut-urut.



Gambar 2.11: Pencocokan distribusi Gompertz dan Weibull pada data TMI 2011 laki-laki 0-15 tahun. Laju $\lambda_{Gmptz}(y) = 0,0012e^{-0,125y}$ dan $\lambda_{Wei}(y) = 0,0027y^{-0,959}$ ditaksir melalui metode regresi linier dengan usia dan nilai peluang kematian pada TMI 2011 sebagai variabel independen dan respon.



Gambar 2.12: Pencocokan distribusi Gompertz dan Weibull pada data TMI 2011 laki-laki 16-65 tahun. Laju $\lambda_{Gmptz}(y) = 0,00007e^{0,0865y}$ dan $\lambda_{Wei}(y) = 4 \times 10^{-8}y^{3,0322}$ ditaksir melalui metode regresi linier dengan usia dan nilai peluang kematian pada TMI 2011 sebagai variabel independen dan respon.



Gambar 2.13: Pencocokan distribusi Gompertz dan Weibull pada data TMI 2011 laki-laki 66-111 tahun. Laju $\lambda_{Gmptz}(y) = 0,00004e^{0,0903y}$ dan $\lambda_{Wei}(y) = 7 \times 10^{-17}y^{7,8298}$ ditaksir melalui metode regresi linier dengan usia dan nilai peluang kematian pada TMI 2011 sebagai variabel independen dan respon.

Dengan pembagian usia tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecocokan model dapat mencapai di atas 80% dengan model terbaik sebagai berikut:

1. Usia 0 s.d. 15 tahun, model **Weibull** dengan laju

$$\lambda_{Wei}(y) = 0,0027y^{-0,959},$$

yang dapat dianggap model terbaik karena $R^2 = 81,57\%$.

2. Usia 16 s.d. 65 tahun, berbeda dg kelompok di atas, model terbaik adalah **Gompertz** dengan laju

$$\lambda_{Gmptz}(y) = 0,00007 e^{0,0865y}$$

dan $R^2 = 99,28\%$.

3. Terakhir, usia 66 s.d. 110 tahun, model **Weibull** dengan

$$\lambda_{Wei}(y) = 7 \times 10^{-17} y^{7,8298}$$

dengan $R^2 = 99,92\%$.

Berdasarkan pemodelan tersebut, dapat disimpulkan bahwa model Weibull cocok untuk memprediksi distribusi usia muda dan tua yang memiliki pola penurunan dan kenaikan peluang kematian. Sedangkan model Gompertz cocok untuk peluang kematian yang cenderung konstan atau kenaikan yang landai.

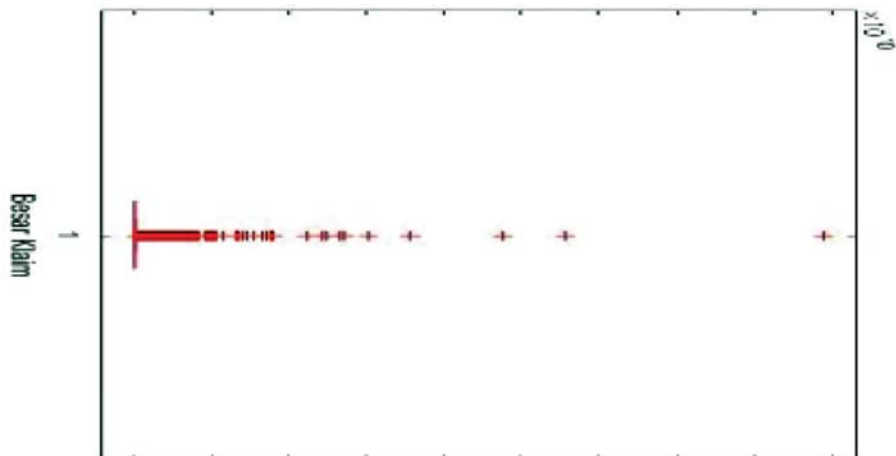
Selanjutnya, jika mengikuti negara-negara lain (lihat Tabel 2.1) yang melakukan perubahan-perubahan TM, kinerja BPJS masih jauh dari yang seharusnya dilakukan. Oleh karena itu, tim KK Statistika FMIPA ITB merekomendasikan memperbaharui tabel kematian di BPJS minimal 4 tahun sekali. Pembentukan TMI ini tidak butuh perlakuan khusus

karena kematian setiap peserta BPJS terekam otomatis di basis data (*database*) peserta BPJS, selama keluarga yang ditinggalkan melaporkan kematian saudara/kerabat.

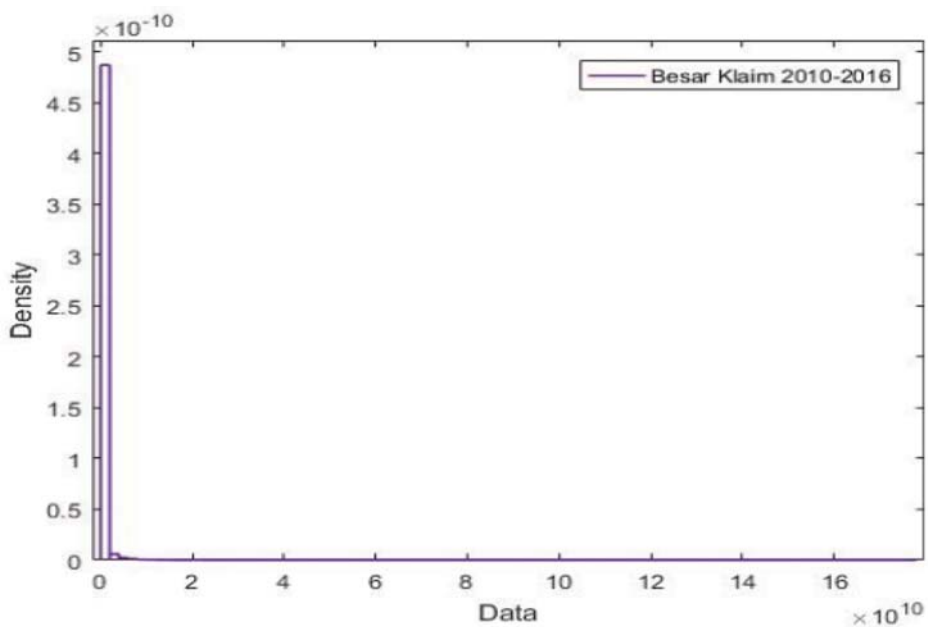
Tabel 2.1: Periode perubahan tabel mortalita berbagai negara

Negara	Periode perubahan (tahun)
Amerika Serikat	1
Singapura	1
Belanda	2
Australia	5
Thailand	10

Di asuransi umum, Pada Gambar 2. 14 dan Gambar 2.15 Marisa (2019) menggunakan Distribusi Generalized Pareto (DGP) yang memiliki tiga parameter yaitu skala – α , bentuk – β , dan lokasi – μ ,. DGP ini merupakan salah satu distribusi kontinu dengan memodelkan ekor distribusinya. Hal yang menarik dari DGP ini jika $\alpha = \beta = 0$ maka setara dengan distribusi eksponensial, sedangkan untuk $\alpha = -1$ maka setara dengan distribusi seragam kontinu, distribusi pareto didekati ketika $\alpha > 0$ dan $\mu = \frac{\alpha}{\beta}$. Selain itu juga, GDP hampir sama dengan distribusi Burr.



Gambar 2.14: Boxplot besar klaim harta benda 2010-2016. Terdeteksi banyak nilai ekstrem yang menjadi pencilan. Nilai-nilai ekstrem tersebut memiliki ragam cukup besar.



Gambar 2.15: Histogram besar klaim harta benda 2010-2016. Sebagian besar klaim menumpuk di nilai yang lebih kecil, namun keberadaan nilai ekstrem tinggi cukup banyak membuat distribusi berekor tebal.

3. PERANAN DISTRIBUSI EKOR TEBAL

3.1 Asuransi Kendaraan Dan Garansi

Perbedaan mendasar antara asuransi kendaraan dan garansi adalah: asuransi melindungi semua kejadian yang tidak diharapkan yang akan menuju kepada kerusakan (*damage*) sementara garansi menjamin kejadian-kejadian yang diharapkan pemilik kendaraan. Khusus untuk pembahasan garansi kerusakan yang dipertimbangkan adalah *failure*. Secara model matematika, faktor yang dipertimbangkan asuransi dan garansi nyaris sama karena semua kejadian yang diharapkan atau tidak diharapkan mengikuti distribusi kerusakan. Pada bagian awal ini akan dijelaskan garansi terlebih dahulu karena di bidang tersebut sudah dilakukan studi *bivariate* antara usia kendaraan dan jarak tempuh (penggunaan). Berikutnya adalah prinsip teori permainan yang dikembangkan pada garansi yang dikembangkan pada asuransi jiwa.

Di bidang asuransi umum, misal pada asuransi kendaraan, pada saat pembelian konsumen pada umumnya akan mendapatkan garansi. Garansi adalah jaminan tindakan pemeliharaan peralatan selama periode tertentu yang diberikan oleh produsen (pemanufaktur) kepada pemilik peralatan (konsumen). Dengan memiliki garansi, konsumen dapat menghindari segala jenis kemungkinan kerugian bisnisnya, misal gangguan operasi, produktivitas menurun, ongkos operasi meningkat, atau jadwal pengiriman terlambat.

Garansi dari suatu peralatan memiliki periode yang berbeda-beda bergantung pada peralatan yang dipertimbangkan. Misalkan untuk suatu kendaraan, dapat diberikan garansi dengan periode W , misal 1 tahun disebut sebagai garansi 1 dimensi 1D, atau sepanjang W , misal 1 tahun dan/atau penggunaan U , misal 100.000 kilometer mana saja yang lebih dulu terjadi disebut sebagai garansi 2 dimensi 2D.



Gambar 3.1: Daerah kontrak pemeliharaan 1D dibatasi oleh satu dimensi/pembatas berupa waktu/usia peralatan sepanjang W , misal 1 tahun.

Penelitian di bidang garansi dari sudut pandang rekayasa telah banyak dilakukan baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Penelitian dalam negeri dipelopori oleh Prof. Ir. Bermawi Priyatna Iskandar, M.Sc., Ph.D. sejak tahun 1992. Beberapa penelitian garansi 1D diantaranya telah dilakukan oleh Murthy dan Yeung (1995), Murthy dan Asgharizadeh (1998), dan Iskandar dkk. (2014), sementara garansi 2D diantaranya oleh Iskandar dkk. (2013), Husniah dkk. (2014), dan Heydari dkk. (2018). Selain bergantung tipe peralatan yang dipertimbangkan, kemunculan garansi 2D dapat dipandang sebagai akibat dari perkembangan teknologi yang mampu mengklasifikasi tipe konsumen, misal konsumen pemilik kendaraan dengan:

- a) penggunaan rendah; misal keluarga muda,

- b) menengah atau moderat; misal keluarga dengan keseluruhan anggota telah dewasa, dan
- c) tinggi; misal industri transportasi (perusahaan travel).

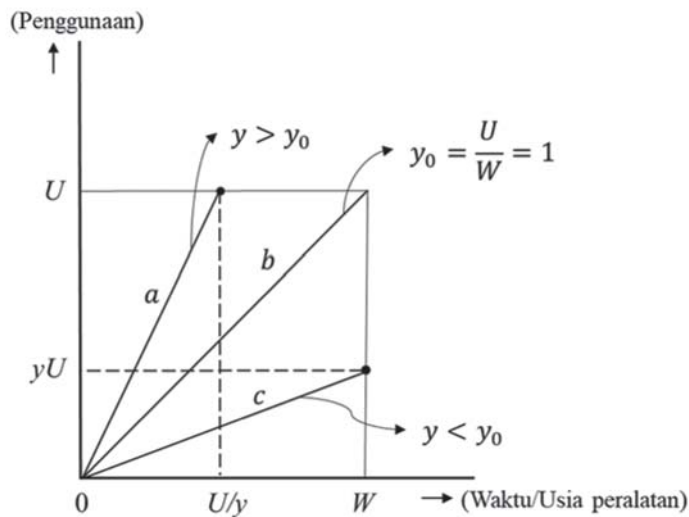
Di bidang dua dimensi, klasifikasi tersebut digambarkan dalam bentuk daerah (lihat Gambar 3.2). Dari sudut pandang aktuaria, penelitian di bidang garansi belum mempertimbangkan usia dan jenis kelamin pemilik peralatan.

Matematikawan terlibat dalam penelitian garansi dengan (1) mendalami sifat-sifat analitik dari garansi dan (2) melakukan pengembangan distribusi yang dipakai dalam model garansi.

Secara matematis, meneliti data kerusakan peralatan dalam kasus garansi adalah proses menghitung yang memenuhi 4 (empat) ciri: 1) $N(0) = 0$; 2) mempunyai kenaikan yang stasioner dan bebas; 3) $P[N(h) = 1] = \lambda h + o(h)$; dan 4) $P[N(h) \geq 2] = o(h)$, sehingga dapat disebut sebagai proses Poisson. Hal ini sejalan dengan mayoritas penelitian garansi di bidang rekayasa yang mengasumsikan bahwa kerusakan peralatan mengikuti Proses Poisson Non-homogen (Iskandar dan Murthy, 2003).

Daerah garansi 2D dibatasi oleh dua dimensi/pembatas berupa waktu/usia peralatan sepanjang W (misal 1 tahun), dan penggunaan U (misal 100.000 kilometer). Pada bidang 2D, dapat digambarkan garis-garis yang menyatakan jenis konsumen berdasarkan penggunaan

peralatan. Misal garis a , b , dan c berturut-turut menyatakan konsumen dengan laju penggunaan rendah, menengah (moderat) dan tinggi.



Gambar 3.2: Daerah Garansi 2D

Selanjutnya, dari sisi pihak yang terlibat dalam garansi ada dua pihak masing-masing pamanufaktur dan konsumen. Melalui formulasi permainan, masing-masing pihak menawarkan minimal satu opsi, dan memiliki fungsi objektif/utilitas yang akan dicari maksimasi/minimasinya. Dua formulasi permainan yang biasa digunakan adalah Nash (diantaranya digunakan oleh Husniah dkk. (2016), dan de Santana dkk. (2019)) dan Stackelberg (Rinsaka dan Sandoh (2006) dan Zhang dkk. (2016)).

Kembali ke bidang Aktuaria, penulis memberanikan diri menggunakan formulasi teori permainan Stackelberg dalam masalah

keputusan penentuan nilai premi. Secara umum, model ini banyak digunakan di bidang Ekonomi, untuk menyelesaikan permasalahan pasar duopoli. Pasar ini merupakan persaingan antar dua perusahaan yang berperan sebagai produsen dengan konsumen (pelanggan) yang sangat banyak sehingga dua perusahaan tersebut dapat menetapkan harga dengan leluasa tanpa mempertimbangkan kemampuan masyarakat hingga terkadang mengabaikan kemampuan konsumen untuk membeli/membayar barang/jasa terkait (Friedman, 1989).

Angelina dan Pasaribu (2022) mengadaptasi fungsi objektif/utilitas di garansi untuk pihak-pihak yang terlibat di asuransi jiwa (asji), yakni penanggung (perusahaan asuransi) dan tertanggung (peserta). Dalam tugas akhir tersebut, ditetapkan penanggung menawarkan 4 (empat) produk asji kepada tertanggung. Model ini dapat direpresentasikan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1.: Tabel keuntungan (π) pada permainan penanggung dan tertanggung dengan model Stackelberg.

Tertanggung Penanggung		Menerima	Menolak
Menjual Produk	1	$(\pi(1,1,1), \pi(2,1,1))$	$(\pi(1,1,0), \pi(2,1,0))$
	2	$(\pi(1,2,1), \pi(2,2,1))$	$(\pi(1,2,0), \pi(2,2,0))$
	3	$(\pi(1,3,1), \pi(2,3,1))$	$(\pi(1,3,0), \pi(2,3,0))$
	4	$(\pi(1,4,1), \pi(2,4,1))$	$(\pi(1,4,0), \pi(2,4,0))$

Penanggung memiliki 4 produk yang akan ditawarkan kepada tertanggung. Sementara, tertanggung memiliki 2 keputusan untuk menerima salah satu produk dan menolak semua produk asuransi yang ditawarkan. Setiap langkah yang diambil oleh penanggung dan tertanggung, akan terdapat nilai keuntungan untuk penanggung $\pi(r = 1, v, w)$ dan untuk tertanggung $\pi(r = 2, v, w)$.

A. Penanggung

Pengeluaran dari penanggung $\mathcal{O}(1, v, w)$ (dalam Rupiah) didefinisikan dengan penjumlahan antara pembayaran manfaat $\mathcal{M}(v)$ (dalam Rupiah) sebesar b_v kepada tertanggung sebanyak fungsi $\mathcal{U}_v$ tertanggung yang akan membeli produk asuransi v yang diekspektasikan ke nilai sekarang dan pengeluaran lain $\mathcal{H}(1, v, w)$ (dalam Rupiah) berupa pembayaran awal sebesar α dari besar premi, serta pembayaran tahunan sebesar β dari besar premi. Sehingga didapatkan formula berikut:

1. Ekspektasi nilai sekarang dari pemasukan penanggung

$$\mathcal{I}(1, v, w) = \mathcal{P}_v \cdot (\mathcal{U}_v(\mathcal{P}_v)) \int_0^n (1 + i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt \quad (1)$$

$$\mathcal{I}(1, v, w) = \mathcal{P}_v \cdot (\mathcal{U}_v(\mathcal{P}_v)) \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)} \quad (2)$$

2. Ekspektasi nilai sekarang dari pengeluaran penanggung

$$\begin{aligned}
\mathcal{M}(v) &= \mathcal{U}_v \cdot F_{x,v}(n) \cdot b_v \bar{A}_{x:\overline{n}|(i_v)}^1 \\
&= \mathcal{U}_v \cdot F_{x,v}(n) \cdot b_v \int_0^n (1+i_v)^{-t} f_{x,v}(t) dt \\
&= \mathcal{U}_v \cdot F_{x,v}(n) \cdot b_v \int_0^n (1+i_v)^{-t} f_{x,v}(t) dt
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
\mathcal{H}(1, v, w) &= \mathcal{U}_v \cdot \mathcal{P}_v (\beta \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)} + \alpha) \\
&= \mathcal{U}_v \cdot \mathcal{P}_v \left(\beta \int_0^n (1+i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt + \alpha \right)
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
\mathcal{O}(1, v, w) &= \mathcal{M}(v) + \mathcal{H}(1, v, w) \\
&= \mathcal{U}_v \cdot F_{x,v}(n) \cdot b_v \int_0^n (1+i_v)^{-t} f_{x,v}(t) dt \\
&\quad + \mathcal{U}_v \cdot \mathcal{P}_v \left(\beta \int_0^n (1+i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt + \alpha \right)
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
\mathcal{O}(1, v, w) &= \mathcal{U}_v (F_{x,v}(n) b_v \bar{A}_{x:\overline{n}|(i_v)}^1 \\
&\quad + \mathcal{P}_v (\beta \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)} + \alpha))
\end{aligned} \tag{6}$$

Maka, fungsi keuntungan penanggung (dalam Rupiah) adalah

$$\begin{aligned}
\pi(1, v, w) &= \mathcal{I}(1, v, w) - \mathcal{O}(1, v, w) \\
&= \mathcal{P}_v \mathcal{U}_v (\mathcal{P}_v) \int_0^n (1+i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt \cdot \\
&\quad \left(\mathcal{U}_v F_{x,v}(n) b_v \int_0^n (1+i_v)^{-t} f_{x,v}(t) dt + \right. \\
&\quad \left. \mathcal{P}_v \mathcal{U}_v (\mathcal{P}_v) (\beta \int_0^n (1+i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt + \alpha) \right)
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
\pi(1, v, w) &= \mathcal{P}_v (\mathcal{U}_v (\mathcal{P}_v)) \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)} - \\
&\quad \mathcal{U}_v \left(F_{x,v}(n) b_v \bar{A}_{x:\overline{n}|(i_v)}^1 + (\beta \mathcal{P}_v \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)} + \alpha \mathcal{P}_v) \right)
\end{aligned} \tag{8}$$

dengan $0 \leq \alpha, \beta < 1$, $\bar{A}_{x:\overline{n}|(i_v)}^1$ dan $\bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)}$ berturut-turut adalah manfaat dan premi asuransi berjangka n tahun, serta $S_{x,v}(t)$, $F_{x,v}(t)$, dan $f_{x,v}(t)$ sesuai dengan distribusi peubah acak T_x yang sesuai dengan produk asuransi v .

a. Produk Asuransi 1

Pada produk asuransi 1, penanggung akan ditawarkan produk asji berjangka n – tahun dengan manfaat $\mathcal{L}_1$ yang diberikan kepada tertanggung yang meninggal dunia akibat sebab apapun. Banyak tertanggung yang membeli produk asuransi 1 sesuai fungsi $\mathcal{U}_1$, dan fungsi kesintasan Makeham $S_{x,1}(t)$. Oleh karena itu, fungsi keuntungan bagi penanggung dengan $\mathcal{R} = \mathcal{V} = 1$ dan $\mathcal{W} = \{0,1\}$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi(1,1,1) &= \mathcal{P}_1 \cdot (\mathcal{U}_1(\mathcal{P}_1)) \int_0^n (1 + i_1)^{-t} S_{x,1}(t) dt - \\ &\quad \mathcal{U}_1 \left(F_{x,1}(n) \mathcal{L}_1 \int_0^n (1 + i_1)^{-t} f_{x,1}(t) dt + \right. \\ &\quad \left. \mathcal{P}_1 (\beta \int_0^n (1 + i_1)^{-t} S_{x,1}(t) dt + \alpha) \right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \pi(1,1,1) &= \mathcal{P}_1 \cdot (\mathcal{U}_1(\mathcal{P}_1)) \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_1)} - \\ &\quad \mathcal{U}_1 \left(F_{x,1}(n) \mathcal{L}_1 \bar{A}_{x:\overline{n}|(i_1)}^1 + \beta \mathcal{P}_1 \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_1)} + \alpha \mathcal{P}_1 \right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\pi(1,1,0) = 0 \quad (11)$$

b. Produk Asuransi 2

Pada produk asuransi 2, penanggung akan ditawarkan produk asuransi jiwa berjangka n – tahun dengan manfaat sebesar $\mathcal{L}_2$ kepada tertanggung yang meninggal dunia akibat sebab apapun, tingkat suku bunga sebesar i_2 , banyak tertanggung yang membeli produk asuransi 2 sesuai fungsi $\mathcal{U}_2$, dan fungsi kesintasan Gompertz $S_{x,2}(t)$. Oleh karena itu, fungsi keuntungan bagi penanggung dengan $\mathcal{R} = 1$, $\mathcal{V} = 2$, dan $\mathcal{W} = \{0,1\}$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\pi(1,2,1) &= \mathcal{P}_2 \cdot (\mathcal{U}_2(\mathcal{P}_2)) \int_0^n (1+i_2)^{-t} S_{x,2}(t) dt - \\ &\quad \mathcal{U}_2 \left(F_{x,2}(n) \mathcal{P}_2 \int_0^n (1+i_2)^{-t} f_{x,2}(t) dt + \right. \\ &\quad \left. \mathcal{P}_2 (\beta \int_0^n (1+i_2)^{-t} S_{x,2}(t) dt + \alpha) \right) \quad (12)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(1,2,1) &= \mathcal{P}_2 \cdot (\mathcal{U}_2(\mathcal{P}_2)) \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_2)} - \\ &\quad \mathcal{U}_2 \left(F_{x,2}(n) \mathcal{P}_2 \bar{A}_{x:\overline{n}|(i_2)}^1 + \beta \mathcal{P}_2 \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_2)} + \alpha \mathcal{P}_2 \right) \quad (13)\end{aligned}$$

$$\pi(1,2,0) = 0 \quad (14)$$

c. Produk Asuransi 3

Berbeda dengan produk di atas 1 dan 2, pada produk asuransi 3 akan digunakan model satu individu dengan banyak penyebab. Oleh karena itu, penanggung akan ditawarkan produk asji berjangka n -tahun dengan manfaat:

- i. sebesar $\mathcal{P}_{3,1}$ diberikan kepada tertanggung, jika meninggal dunia karena sebab lain selain penyakit AAA, misal jantung
- ii. sebesar $\mathcal{P}_{3,2}$ kepada tertanggung yang meninggal dunia karena AAA, misal jantung. Di sini, tingkat suku bunga i_3 , banyak tertanggung yang membeli produk asuransi 3 sesuai fungsi $\mathcal{U}_3$, dan fungsi kesintasan Makeham $S_{x,1}(t)$ untuk kematian alami dan $S_{x,3}(t)$ untuk kematian akibat penyakit jantung. Oleh karena itu, fungsi keuntungan bagi penanggung dengan $\mathcal{R} = 1$, $\mathcal{V} = 3$, dan $\mathcal{W} = \{0,1\}$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\pi(1,3,1) &= \mathcal{P}_3 \cdot (\mathcal{U}_3(\mathcal{P}_3)) \int_0^n (1+i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) dt - \\ &\quad \mathcal{U}_3 \left(S_{x,3}^{01}(t) \mathcal{P}_1 \int_0^n (1+i_1)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) \mu_{x+t,1}^{01} dt + \right. \\ &\quad \left. \mathcal{P}_3 (\beta \int_0^n (1+i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) dt + \alpha) \right) \quad (15)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& S_{x,3}^{02}(t) \ell_3 \int_0^n (1+i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) \mu_{x+t,3}^{02} dt + \\
& \mathcal{P}_3 \left(\beta \int_0^n (1+i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) dt + \alpha \right) \\
\pi(1,3,1) = & \mathcal{P}_3 \cdot (\mathcal{U}_3(\mathcal{P}_3)) \bar{a}_{x:\bar{n}|(i_3)}^{00} - \\
& \mathcal{U}_3 \left(S_{x,3}^{01}(t) \ell_{3,1} \bar{A}_{x:\bar{n}|(i_1)}^{01} + S_{x,3}^{02}(t) \ell_{3,2} \bar{A}_{x:\bar{n}|(i_3)}^{02} + \right. \\
& \left. \beta \mathcal{P}_3 \bar{a}_{x:\bar{n}|(i_3)}^{00} + \alpha \mathcal{P}_3 \right)
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\pi(1,3,0) = 0 \tag{17}$$

d. Produk Asuransi 4

Seperti produk 3, di produk asji 4 ini penanggung menawarkan produk asji berjangka n -tahun dengan manfaat $\ell_{4,1}$ yang diberikan kepada tertanggung meninggal dunia karena sebab lain selain AAA penyakit jantung dan manfaat sebesar $\ell_{4,2}$ kepada tertanggung yang meninggal dunia akibat AAA penyakit jantung, tingkat suku bunga sebesar i_4 , banyak tertanggung yang membeli produk ini asuransi 4 sesuai ikuti fungsi $\mathcal{U}_4$, dan fungsi kesintasan Gompertz $S_{x,2}(t)$ untuk kematian karena sebab lain selain penyakit jantung dan $S_{x,4}(t)$ untuk kematian akibat penyakit jantung. Oleh karena itu, fungsi keuntungan bagi penanggung dengan $\mathcal{R} = 1$, $\mathcal{V} = 4$, dan $\mathcal{W} = \{0,1\}$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\pi(1,4,1) = & \mathcal{P}_4 \cdot (\mathcal{U}_4(\mathcal{P}_4)) \int_0^n (1+i_4)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) dt - \\
& \mathcal{U}_4 \left(S_{x,4}^{01}(t) \ell_{4,1} \int_0^n (1+i_2)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) \mu_{x+t,2}^{01} dt + \right. \\
& S_{x,4}^{02}(t) \ell_{4,2} \int_0^n (1+i_4)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) \mu_{x+t,4}^{02} dt + \\
& \left. \mathcal{P}_4 \left(\beta \int_0^n (1+i_4)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) dt + \alpha \right) \right)
\end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} \pi(1,4,1) = & \mathcal{P}_4 \cdot (\mathcal{U}_4(\mathcal{P}_4)) \bar{a}_{x:\bar{n}|(i_4)}^{00} - \\ & \mathcal{U}_4 \left(S_{x,4}^{01}(t) \ell_{4,1} \bar{A}_{x:\bar{n}|(i_2)}^{01} + S_{x,4}^{02}(t) \ell_{4,2} \bar{A}_{x:\bar{n}|(i_4)}^{02} + \right. \\ & \left. \beta \mathcal{P}_4 \bar{a}_{x:\bar{n}|(i_4)}^{00} + \alpha \mathcal{P}_4 \right) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\pi(1,4,0) = 0 \quad (20)$$

B. Tertanggung

Tertanggung yang berperan sebagai pengikut adalah pemain yang akan mengambil keputusan setelah penanggung mengambil keputusan. Walaupun tertanggung akan mendapatkan nilai keuntungan yang lebih kecil dari penanggung, ia akan tetap memilih 1 strategi yang paling menguntungkan. Ia memiliki 2 pilihan strategi, yaitu menerima salah satu produk atau menolak semua produk asuransi yang ditawarkan oleh penanggung.

Pemasukan dari tertanggung $\mathcal{I}(2, \nu, w)$ adalah ekspektasi nilai sekarang dari pembayaran manfaat $\mathcal{M}(\nu)$ yang dilakukan oleh penanggung di masa depan jika terjadi kematian ditambah dengan gaji tahunan yang diperoleh tertanggung w . Sedangkan pengeluaran dari tertanggung $\mathcal{O}(2, \nu, w)$ didefinisikan dengan pembayaran premi ($\mathcal{P}$) kepada penanggung dikurangi dengan pengeluaran tahunan θ tertanggung dan pengeluaran tertanggung akibat meninggal dunia γ . Sehingga didapatkan formula apabila tertanggung membeli salah satu dari produk asuransi yang ditawarkan:

1. Ekspektasi nilai sekarang dari pemasukan tertanggung

$$\begin{aligned} \mathcal{I}(2, v, w) = \mathcal{M}(v) = & \ell_v \int_0^n (1 + i_v)^{-t} f_{x,v}(t) dt + \\ & w \int_0^n (1 + i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt \end{aligned} \quad (21)$$

$$\mathcal{I}(2, v, w) = \mathcal{M}(v) = b_v \bar{A}_{x:\overline{n}|(i_v)}^1 + w \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)} \quad (22)$$

2. Ekspektasi nilai sekarang dari pengeluaran tertanggung

$$\begin{aligned} \mathcal{O}(2, v, w) = (\mathcal{P}_v + \theta) \int_0^n (1 + i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt + \\ \gamma \int_0^n (1 + i_v)^{-t} f_{x,v}(t) dt \end{aligned} \quad (23)$$

$$\mathcal{O}(2, v, w) = (\mathcal{P}_v + \theta) \bar{a}_{x:\overline{n}|(i_v)} + \gamma \bar{A}_{x:\overline{n}|(i_v)}^1 \quad (24)$$

Maka, untuk $\mathcal{R} = 2, \mathcal{V} = \{1, 2, 3, 4\}$, dan $\mathcal{W} = 0$, fungsi keuntungan tertanggung apabila tidak membeli semua produk asuransi yang ditawarkan adalah

$$\begin{aligned} \pi(2, v, 0) = (w - \theta) \int_0^n (1 + i_v)^{-t} S_{x,v}(t) dt - \\ \gamma \int_0^n (1 + i_v)^{-t} f_{x,v}(t) dt \end{aligned} \quad (25)$$

Maka untuk $\mathcal{V} = \{1, 2, 3, 4\}$, dan $\mathcal{W} = 1$ diekspresikan sebagai berikut:

a. Produk Asuransi 1

Pada produk asuransi 1, tertanggung akan memilih untuk membeli asuransi jiwa berjangka n – tahun yang akan membayarkan manfaat sebesar ℓ_1 jika tertanggung meninggal karena sebab lain selain penyakit jantung sebelum n -tahun sejak membeli asuransi jiwa dan tertanggung juga berkewajiban membayarkan premi kontinu setiap tahunnya kepada penanggung. Fungsi keuntungan tertanggung untuk $\mathcal{V} = 1$, dan $\mathcal{W} = 1$ seperti berikut.

$$\begin{aligned} \pi(2, 1, 1) = (\ell_1 - \gamma) \int_0^n (1 + i_1)^{-t} f_{x,1}(t) dt \\ + (w - \mathcal{P}_1 - \theta) \int_0^n (1 + i_1)^{-t} S_{x,1}(t) dt \end{aligned} \quad (26)$$

b. Produk Asuransi 2

Pada produk asuransi 2, tertanggung akan memilih untuk membeli asuransi jiwa berjangka n – tahun yang akan membayarkan manfaat sebesar $\mathcal{L}_2$ jika tertanggung meninggal karena sebab lain selain penyakit jantung sebelum n -tahun sejak membeli asuransi jiwa dan tertanggung juga berkewajiban membayarkan premi setiap tahunnya kepada penanggung. Fungsi keuntungan tertanggung untuk $\mathcal{V} = 2$, dan $\mathcal{W} = 1$ seperti berikut.

$$\begin{aligned} \pi(2,2,1) = (\mathcal{L}_2 - \gamma) \int_0^n (1 + i_2)^{-t} f_{x,2}(t) dt \\ + (w - \mathcal{P}_2 - \theta) \int_0^n (1 + i_2)^{-t} S_{x,2}(t) dt \end{aligned} \quad (27)$$

c. Produk Asuransi 3

Pada produk asuransi 3, tertanggung akan memilih untuk membeli asuransi jiwa berjangka n -tahun yang akan membayarkan manfaat sebesar $\mathcal{L}_{3,1}$ jika tertanggung meninggal karena sebab lain selain penyakit jantung dan sebesar $\mathcal{L}_{3,2}$ jika tertanggung meninggal akibat penyakit jantung sebelum n -tahun sejak membeli asuransi jiwa dan tertanggung juga berkewajiban membayarkan premi setiap tahunnya kepada penanggung. Fungsi keuntungan tertanggung untuk $\mathcal{V} = 3$, dan $\mathcal{W} = 1$ seperti berikut.

$$\begin{aligned} \pi(2,3,1) = (w - \mathcal{P}_3 - \theta) \int_0^n (1 + i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) dt + \\ \mathcal{L}_{3,1} \int_0^n (1 + i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) \mu_{x+t,3}^{01} dt + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \ell_{3,2} \int_0^n (1+i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) \mu_{x+t,3}^{02} dt - \\
& \gamma \left(\int_0^n (1+i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) \mu_{x+t,3}^{01} dt + \right. \\
& \left. \int_0^n (1+i_3)^{-t} S_{x,3}^{00}(t) \mu_{x+t,3}^{02} dt \right)
\end{aligned} \tag{28}$$

d. Produk Asuransi 4

Pada produk asuransi 4, tertanggung akan memilih untuk membeli asuransi jiwa berjangka n -tahun yang akan membayarkan manfaat sebesar $\ell_{4,1}$ jika tertanggung meninggal karena sebab lain selain penyakit jantung dan sebesar $\ell_{4,2}$ jika tertanggung meninggal akibat penyakit jantung sebelum n -tahun sejak membeli asuransi jiwa dan tertanggung juga berkewajiban membayarkan premi setiap tahunnya kepada penanggung. Fungsi keuntungan tertanggung untuk $\mathcal{V} = 4$, dan $\mathcal{W} = 1$ seperti berikut.

$$\begin{aligned}
\pi(2,3,1) = & (w - \mathcal{P}_4 - \theta) \int_0^n (1+i_4)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) dt + \\
& \ell_{4,1} \int_0^n (1+i_4)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) \mu_{x+t,4}^{01} dt + \\
& \ell_{4,2} \int_0^n (1+i_4)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) \mu_{x+t,4}^{02} dt - \gamma \left(\int_0^n (1+i_4)^{-t} \right. \\
& \left. S_{x,4}^{00}(t) \mu_{x+t,4}^{01} dt + \int_0^n (1+i_4)^{-t} S_{x,4}^{00}(t) \mu_{x+t,4}^{02} dt \right)
\end{aligned} \tag{29}$$

3.2 Nilai Umur Pelanggan

Pada aktuarial, CLV ialah nilai sekarang dari ekspektasi keuntungan atau kerugian yang didapatkan oleh penanggung selama bertransaksi dengan tertanggung. CLV memiliki kesamaan dengan faktor diskonto $v = (1+i)^{-1}$ yang terdapat pada matematika keuangan. Hal utama yang membedakan keduanya adalah nilai umur pelanggan CLV secara khusus mengestimasi tertanggung secara individu atau berdasarkan kelompok

tertanggung tertentu. Sehingga *CLV* menjadi konsep yang sangat baik dan merupakan alat yang sangat berguna untuk mengevaluasi hubungan antara tertanggung dengan penanggung.

Secara matematis, model *CLV* tersederhana dirumuskan oleh Berger dan Nashr (1998) sebagai berikut

$$CLV = R - (S + P) + \dots + \left(\frac{1}{1+i}\right)^T (R - (S + P))^T$$

dengan R ialah pemasukan bersih, S ialah biaya pemasaran, P ialah biaya retensi, dan i ialah suku bunga. Asumsi yang digunakan pada model ini adalah:

- 1) pemasukan bersih yang diterima dari masing-masing tertanggung adalah konstan,
- 2) lama waktu penghitungan *CLV* sudah pasti,
- 3) pemasukan dan pengeluaran terjadi pada tahun yang sama, dan
- 4) suku bunga konstan.

Seiring berjalannya waktu, model ini dikembangkan lebih jauh dengan memasukkan rantai Markov kedalamnya (Pfeifer dan Carraway, 2000). Perilaku hubungan konsumen (tertanggung) dengan perusahaan (penanggung) direpresentasikan sebagai peluang dan dirangkum dalam ‘matrik peluang transisi’. Keunggulan matriks ini dalam tingkat efisiensi perhitungan *CLV*, yaitu lebih cepat karena semua peluang perilaku hubungan konsumen dengan perusahaan sudah terangkum. Pada model

CLV rantai Markov, diasumsikan bahwa pada setiap periode t dari t_0 sampai T , pemasukan dan pengeluaran yang dilakukan oleh perusahaan selama masa transaksi dengan konsumen dirangkum dalam suatu vektor yang disebut vektor acak imbalan $\vec{R}$, yang memenuhi

$$\vec{R} = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} NC - M_1 \\ -M_2 \\ \vdots \\ -M_n \end{pmatrix}$$

dengan NC ialah keuntungan yang diperoleh perusahaan; $M_1, M_2, M_3 \dots M_n$ ialah nilai sekarang dari biaya pemasaran terhadap konsumen, dan n ialah banyaknya keadaan.

Pada setiap sembarang waktu periode T , matriks peluang transisi konsumen P memenuhi sifat di bawah ini untuk setiap periode

$$PV(t_0 = 0) = \left(\frac{1}{1+i}P\right)^0 \vec{R}$$

$$PV(t_1 = 1) = \left(\frac{1}{1+i}P\right)^1 \vec{R}$$

$\vdots$

$$PV(t_T = T) = \left(\frac{1}{1+i}P\right)^T \vec{R}$$

$$CLV_T = \vec{R} + \left(\frac{1}{1+i}P\right)^1 \vec{R} + \left(\frac{1}{1+i}P\right)^2 \vec{R} + \dots + \left(\frac{1}{1+i}P\right)^T \vec{R} = \sum_{t=0}^T \left(\frac{1}{1+i}P\right)^t \vec{R}$$

dengan PV adalah nilai sekarang. Berdasarkan deret geometrik berlaku

$$CLV_{\infty} = \lim_{T \rightarrow \infty} CLV_T = \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{t=0}^T \left(\frac{1}{1+i}P\right)^t \vec{R} = \left(I - \frac{1}{1+i}P\right)^{-1} \vec{R}$$

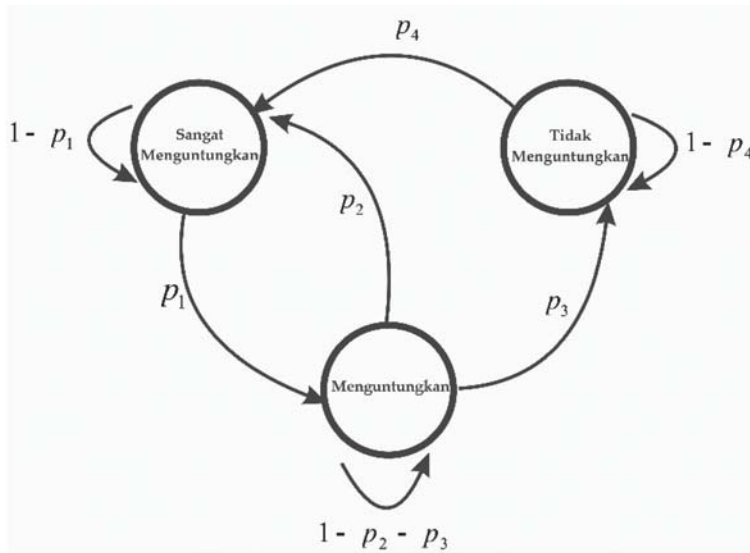
dengan I adalah matrik Identitas, dan vektor-vektor eigen dari matriks $(I - \frac{1}{1+i}P)^{-1}$ adalah $|\lambda_j| < 1, j = 1, 2, \dots, n$.

Sebagai contoh, $n = 3$ berdasarkan Gambar 3.3, masing-masing kelompok yang tidak memberikan keuntungan (*non-profitable*), konsumen yang *profitable*, dan konsumen yang sangat *profitable*. Matriks transisi P -nya adalah

$$\mathbf{P} = (p_{ij}) = \begin{pmatrix} 1-p_1 & p_1 & 0 \\ p_2 & 1-p_2-p_3 & p_3 \\ p_4 & 0 & 1-p_4 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{sangat menguntungkan} \\ \text{menguntungkan} \\ \text{tidak menguntungkan} \end{matrix}$$

Selanjutnya, vektor imbalannya $\vec{R} = \begin{pmatrix} NC - M_1 \\ -M_2 \\ -M_3 \end{pmatrix}$ dengan NC adalah

keuntungan yang diperoleh perusahaan dan M_1, M_2, M_3 adalah nilai sekarang dari biaya pemasaran terhadap konsumen yang sangat menguntungkan, menguntungkan, dan tidak menguntungkan.



Gambar 3.3: Struktur rantai Markov tiga keadaan dari hubungan konsumen dengan perusahaan.

4. POTENSI PENGEMBANGAN MODEL STOKASTIK DARI DISTRIBUSI EKOR TEBAL

4.1 Keluarga Distribusi Kumaraswamy

Jika peubah acak $T \in (0,1)$ mengikuti distribusi Kumaraswamy standar maka fd fkp, dan fungsi kegagalan adalah

$$F(t) = 1 - (1 - t^a)^b; f(t) = abt^{a-1}(1 - t^a)^{b-1};$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{\bar{F}(t)} = \frac{abt^{a-1}}{1 - t^a}$$

dengan parameter bentuk $a, b > 0$. Sebenarnya Kumaraswamy bisa memodelkan berbagai macam bentuk data. Salah satu aplikasi distribusi Kumaraswamy adalah untuk memodelkan data yang batas atasnya adalah Z_{max} dan batas bawah adalah 0.

Perumuman dari distribusi Kumaraswamy disebut distribusi Kumaraswamy yang diperumum, disingkat Kw-G. Misalkan untuk sebarang peubah acak W terdapat sebarang fd basis yang dinotasikan $G(t)$. Menurut Cordeiro dkk. (2010), fd dari W yang berdistribusi Kw-G dengan parameter bentuk $a, b > 0$ adalah

$$F(w) = 1 - (1 - (G(w))^a)^b \quad (30)$$

dan fkp distribusi tersebut diberikan

$$f(w) = ab g(w)(G(w))^{a-1}(1 - (G(w))^a)^{b-1} \quad (31)$$

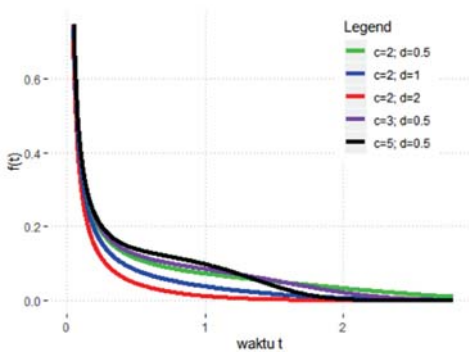
Parameter a dan b sebagai tambahan bagi distribusi basis $G(w)$, mempunyai peran untuk mengatur kemencengan dan ketebalan ekor distribusi (Santana dkk., 2012). Jika nilai parameter $a = b = 1$, maka distribusi Kw-G sama seperti distribusi basisnya. Distribusi Kw-G akan menjadi dasar bagi dalam membangun distribusi baru K-LLGo.

Proses penggabungan distribusi menggunakan fd dan fkp distribusi Kw-G pada Persamaan (30) dan (31). Untuk memperoleh fd K-LLGo, lakukan substitusi fd basis LLGo, $G(t) = 1 - (1 + t^\gamma)^{-1} e^{-\frac{\alpha}{\ln \beta}(\beta^t - 1)}$ ke fd Kw-G pada Persamaan (31), begitu juga untuk fkpnya. Sehingga peubah acak $T \geq 0$ mengikuti distribusi K-LLGo jika fd dan fkp sesuai pada Persaman (32) dan (33) berikut

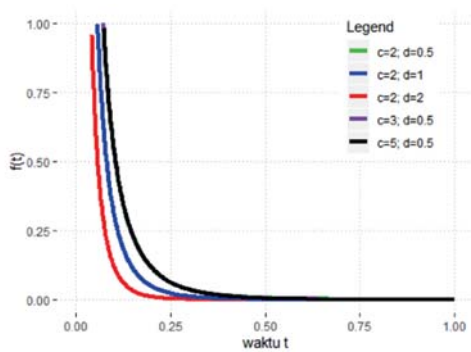
$$F_{KLLGo}(t) = 1 - \left(1 - \left(1 - (1 + t^\gamma)^{-1} e^{-\frac{\alpha}{\ln \beta}(\beta^t - 1)} \right)^a \right)^b \quad (32)$$

$$\begin{aligned}
f_{KLLGo}(t) &= abe^{-\frac{\alpha}{\ln \beta}(\beta^t-1)}[1+t^\gamma]^{-2}\{\alpha\beta^t + \alpha\beta^t t^\gamma - \gamma t^{\gamma-1}\} \\
&\times \left(1 - (1+t^\gamma)^{-1}e^{-\frac{\alpha}{\ln \beta}(\beta^t-1)}\right)^{a-1} \\
&\times \left(1 - \left(1 - (1+t^\gamma)^{-1}e^{-\frac{\alpha}{\ln \beta}(\beta^t-1)}\right)^a\right)^{b-1}
\end{aligned} \tag{33}$$

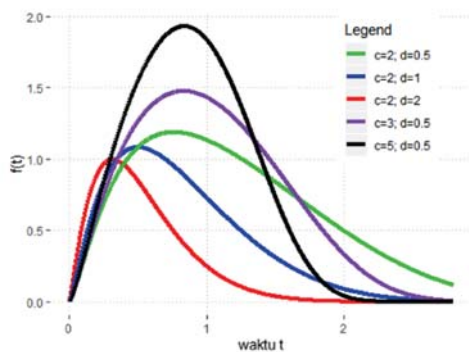
dengan parameter bentuk $a, b, \alpha, \gamma > 0$, dan skala $\beta > 1$. Parameter $a, b > 0$ berasal dari distribusi Kw-G dan $\alpha, \gamma > 0, \beta > 1$ berasal dari distribusi LLGo. Gambar 4.1. dan Gambar 4.2. menunjukkan grafik fd dan fkp untuk beberapa nilai parameter. Fkp distribusi K-LLGo berbentuk monoton turun dan unimodal, serta dapat mempunyai dua titik stasioner berupa maksimum dan minimum lokal. Dari grafik fkp dapat diperkirakan bahwa distribusi K-LLGo dengan parameter $\forall a, b, \alpha, \beta, 0 < \gamma < 1$ dan $\forall b, \alpha, \beta, 0 < a < 1, \gamma \geq 1$ merupakan distribusi berekor tebal.



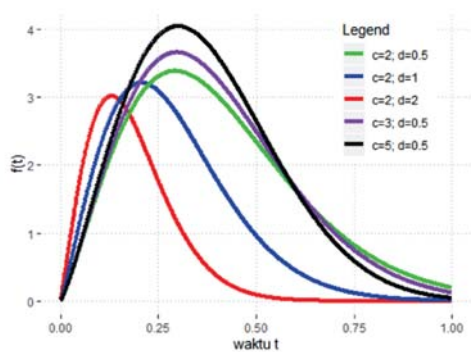
$$a = 0.4, b = 0.8, \gamma = 0.2$$



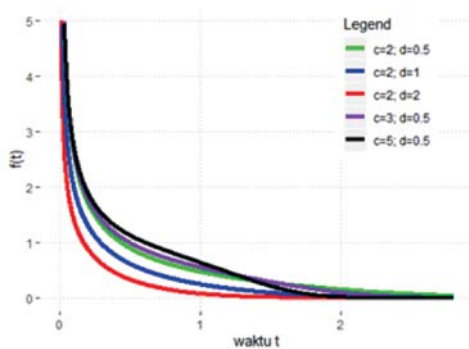
$$a = 0.4, b = 5, \gamma = 0.3$$



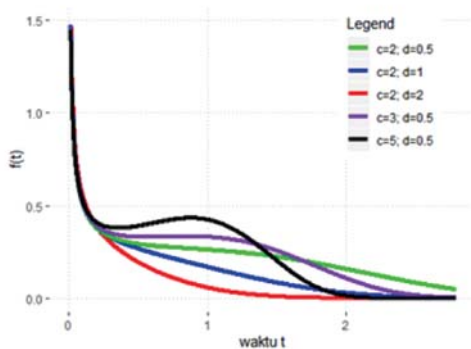
$$a = 2, b = 0.8, \gamma = 1.3$$



$$a = 2, b = 5, \gamma = 1.3$$

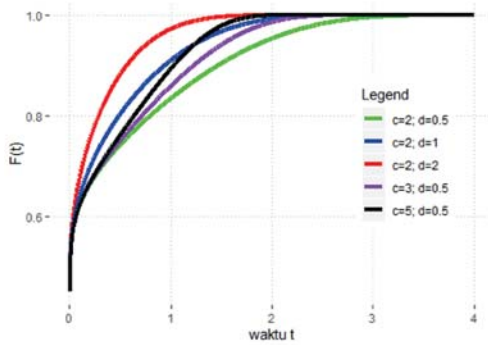


$$a = 0.4, b = 0.8, \gamma = 1.3$$

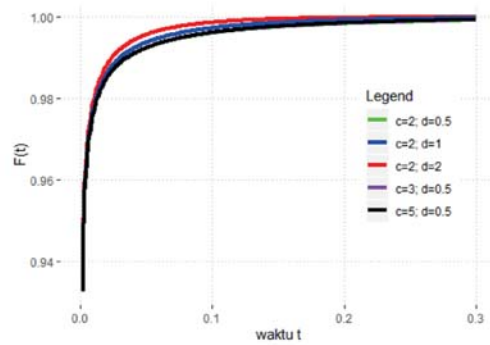


$$a = 2, b = 0.8, \gamma = 0.3$$

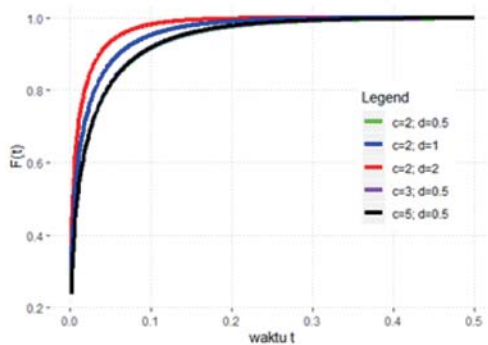
Gambar 4. 1: Grafik fkp distribusi K-LLGo dengan variasi nilai parameter a, b, γ dan grafik berwarna hijau, biru, merah, ungu, dan hitam berturut-turut mempunyai parameter $\beta = 2; 2; 2; 3; 5$ dan $\alpha = 0,5; 1; 2; 0,5; 0,5$. Untuk parameter $0 < a < 1$ serta $0 < \gamma < 1$, bentuk fkp distribusi K-LLGo berupa ekor tebal.



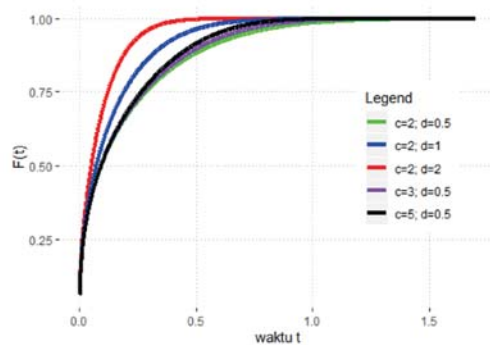
$$a = 0.4, b = 0.8, \gamma = 0.2$$



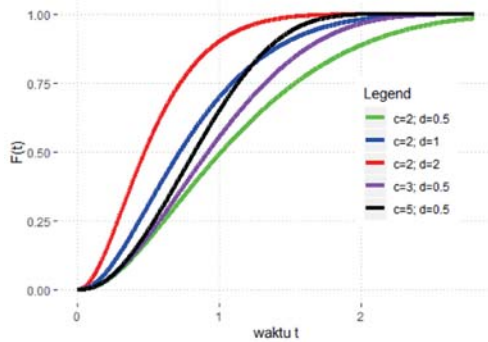
$$a = 0.4, b = 5, \gamma = 0.3$$



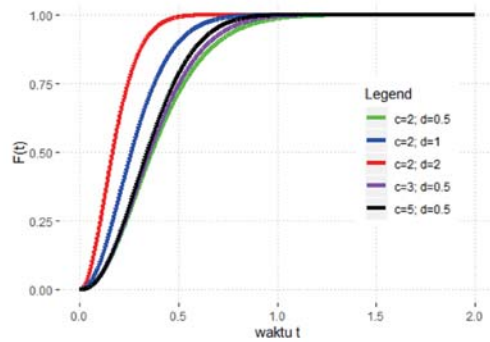
$$a = 0.4, b = 5, \gamma = 1.3$$



$$a = 2, b = 5, \gamma = 0.3$$



$$a = 2, b = 0.8, \gamma = 1.3$$



$$a = 2, b = 5, \gamma = 1.3$$

Gambar 4. 2: Grafik fd distribusi K-LLGo dengan variasi nilai parameter a, b, γ dan grafik berwarna hijau, biru, merah, ungu, dan hitam berturut-turut mempunyai parameter $\beta = 2; 2; 3; 5$ dan $\alpha = 0, 5; 1; 2; 0, 5; 0, 5$. Untuk parameter $0 < a < 1$ serta $0 < \gamma < 1$, bentuk fkp distribusi K-LLGo berupa ekor tebal.

4.2 Distribusi Berekor pada Asuransi

Dari penjelasan di atas terlihat bahwa distribusi berkoreksi lebih banyak ditemukan di penentuan sisa usia (umur) manusia maupun makhluk hidup yang lain dan benda mati seperti kendaraan, rumah, dll. Oleh karena itu, perlu dilakukan terobosan di luar distribusi Weibull, Gompertz, dan Makeham. Misal dengan memperluas definisi pembuatan fungsi kesintasan dari Kumaraswamy baik dari segi teoritis maupun penerapannya. Khusus untuk asuransi umum (kendaraan), perluasan tersebut dapat dimulai dengan mengembangkan bivariate-Weibull, mengingat dari sudut pandang garansi telah dipertimbangkan peubah acak usia kendaraan dan jarak tempuh dicapai, serta dari sudut pandang asuransi kendaraan telah dipertimbangkan peubah acak usia dan jenis kelamin pemilik kendaraan.

Pada penerapan teori permainan di asuransi jiwa, perlu dibangun fungsi utilitas dengan melakukan analisis hingga turunan kedua, ketiga dan turunan lanjut sehingga dapat dikatakan belum menguji sifat-sifat matematika secara mendalam. Mengingat hal tersebut berkaitan dengan penentuan minimum/maksimum, titik belok, titik stasioner, dan lain sebagainya. Hal serupa pada pengkajian mengenai turunan kedua pada MLE (*Maximum Likelihood Estimation*) dan LSE (*Least Square Estimation*). Selama ini, dalam penentuan MLE maupun LSE, hanya berfokus pada turunan pertama saja. Padahal, turunan kedua pun perlu ditentukan agar dapat dipastikan bahwa nilai MLE yang didapatkan merupakan nilai

yang maksimum dan nilai LSE yang didapatkan merupakan nilai yang minimum. Jika turunan kedua dan turunan lanjut tidak dikaji oleh matematikawan, maka para pengguna termasuk insinyur pun juga tidak akan mempertimbangkannya.

4.3 Nilai Umur Konsumen 3 (Tiga) Keadaan

Untuk CLV , bentuk umum matriks transisi satu langkah $\mathbf{P}$, yaitu konsumen berturut-turut level rendah (1), level tinggi (2) dan konsumen tetap (3) dengan matriks transisi 1 langkah:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & 1 - p_1 - p_2 \\ q_1 & q_2 & 1 - q_1 - q_2 \\ r_1 & r_2 & 1 - r_1 - r_2 \end{pmatrix}$$

dengan menetapkan $p_{13} = 1 - p_{11} - p_{12}$, $p_{23} = 1 - p_{21} - p_{22}$ dan $p_{33} = 1 - p_{31} - p_{32}$. Tulis $p_{13} = p_1$, $p_{12} = p_2$, $p_{21} = q_1$, $p_{22} = q_2$, $p_{31} = r_1$ dan $p_{32} = r_2$, dan berlaku $0 \leq p_1, p_2, q_1, q_2, r_1, r_2 \leq 1$.

Perusahaan akan mendapatkan banyak N_c dari setiap pembelian yang dilakukan konsumen, sementara menghabiskan M_c untuk usaha pemasaran. Jelas bahwa $N_c - M_c$ selalu positif. Konsumen tetap tidak akan melakukan pendanaan kepada perusahaan, sehingga perusahaan hanya akan menghabiskan M_f sebagai biaya pemasaran untuk mereka. Nilai pembelian dari level rendah dan level tinggi dikategorikan sebagai N_{c1} dan N_{c2} , sehingga terdapat biaya pemasaran yaitu M_{c1} dan M_{c2} . Kemudian, $\mathbf{R}$ dapat ditulis sebagai

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{c1} - M_{c1} \\ N_{c2} - M_{c2} \\ -M_f \end{pmatrix}$$

Nilai sekarang dari imbalan pada period ke- t yaitu waktu $-t$ nilai diskon dari produk matriks peluang transisi ke $-t$ dan vektor imbalan, yang dituliskan sebagai.

$$\mathbf{V}(t) = [((1 + d)^{-1}\mathbf{P})^t]\mathbf{R}$$

CLV untuk periode T , yaitu total nilai sekarang dari setiap periode $t = 0, 1, 2, \dots, T$ dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut.

$$\mathbf{V}^T = \sum_{j=0}^T [((1 + d)^{-1}\mathbf{P})^j]\mathbf{R}$$

dengan $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $\mathbf{R} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$, dan setiap baris sesuai tahapan pelanggan. Lebih jauh, untuk tak hingga dapat dinotasikan sebagai berikut.

$$\mathbf{V} = \lim_{T \rightarrow \infty} \mathbf{V}^T = \{I - (1 + d)^{-1}\mathbf{P}\}^{-1}\mathbf{R}$$

dengan $\mathbf{I}$ merupakan matriks identitas.

Pengembangan dilakukan dengan memodifikasi tahapan yang mungkin. Kemudian, variasi bergantung kepada matriks transisi $\mathbf{P}$. Kemudian, permasalahan dapat diformulasikan sebagai berikut. Permasalahan invers dimaksudkan untuk memuat matriks peluang transisi $\mathbf{P}$, diberikan beberapa informasi yaitu laba diharapkan dari periode T , $\mathbf{V}$, dan vektor $\mathbf{R}$. Solusi persamaan untuk $\mathbf{P}$.

$$f(\mathbf{P}) = f(p_1, p_2, \dots, p_{n-1}) \text{ atau}$$

$$\mathbf{V}^T - \sum_{j=0}^T [((1 + d)^{-1}\mathbf{P})^j]\mathbf{R} = \mathbf{0}$$

Perhatikan bahwa $f(\mathbf{P})$ vektor $n \times 1$ dan $v = (1 + i)^{-1}$. Maka formula merepresentasikan sistem persamaan nonlinear. Permasalahan invers memiliki formula sebagai berikut.

$$f(\mathbf{P}) = f(p_1, p_2, q_1, q_2, r_1, r_2)$$

$$= \mathbf{v}^T - \sum_{j=0}^T \left[\left((1 + d)^{-1} \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & 1 - p_1 - p_2 \\ q_1 & q_2 & 1 - q_1 - q_2 \\ r_1 & r_2 & 1 - r_1 - r_2 \end{pmatrix} \right)^j \right] \mathbf{R} = \mathbf{0}$$

Permasalahan inversi kemudian digunakan untuk memperkirakan nilai p_1, p_2, q_1, q_2, r_1 dan r_2 , yang memenuhi sistem persamaan nonlinear. Pada kasus tiga keadaan ini, terdapat tiga sistem persamaan nonlinear. Dengan menformulasikan permasalahan invers untuk permasalahan optimasi $f(\mathbf{P})$ di atas, akar perkiraan sistem tersebut akan termuat. Salah satu yang bisa dipilih adalah algoritma genetik atau bunga polinasi (*Pollination Flower*).

4.4 Korosi pada Pipa Penyalur

Korosi merupakan salah satu penyebab kerusakan pada pipa penyalur. Korosi bersifat acak baik dari sudut pandang waktu, lokasi, maupun bentuknya. Oleh karena itu korosi merupakan suatu proses yang mengikuti proses stokastik. Seiring berjalannya waktu, kerusakan yang disebabkan korosi mengakibatkan pipa penyalur tidak dapat berfungsi dengan baik. Kondisi ini biasa dikenal sebagai kondisi kegagalan pipa penyalur. Kondisi kegagalan pipa penyalur akibat korosi

didefinisikan ketika kedalaman korosi maksimal yang diperbolehkan atau korosi kritis D_c lebih kecil dari pada kedalaman korosi pada waktu t . Kondisi kegagalan menurut definisi di atas dapat dituliskan dalam persamaan matematik sebagai berikut

$$D_c - D(t) \leq 0$$

dengan D_c adalah kedalaman korosi kritis dan $D(t)$ adalah kedalaman korosi pada waktu t . Persamaan di atas dapat dituliskan sebagai

$$Z(t) \leq 0$$

Peluang kegagalan pipa penyalur pada waktu ke t akibat korosi dapat didefinisikan sebagai berikut

$$P_t(Z(t) < 0)$$

dengan $Z(t)$ merupakan kondisi kegagalan pipa.

Penentuan korosi kritis D_c dapat diperoleh melalui hubungan antara pengaruh korosi terhadap penurunan tegangan operasi σ_{op} melalui persamaan berikut

$$\sigma_{op} = \left(\frac{1 - \frac{A_c}{A_0}}{1 - \frac{A_c}{A_0 M}} \right) \sigma_y$$

atau

$$\sigma_{op} = k \sigma_y$$

dengan $k = \left(\frac{1 - \frac{A_c}{A_0}}{1 - \frac{A_c}{A_0} \frac{1}{M}} \right)$ dengan A_c adalah luas area yang terkena korosi, A_0 adalah luas area awal, dan M adalah factor folias. Nilai $\frac{A_c}{A_0}$ berada diantara 0 dan 1, $0 \leq \frac{A_c}{A_0} \leq 1$ dan $M > 0$ sehingga menyebabkan $0 \leq k \leq 1$. Oleh karena itu persamaan di atas menunjukkan bahwa pipa yang tidak terkena korosi dapat menerima tegangan maksimal sebesar kekuatan luluh material pipa tersebut. Tetapi pada pipa yang terkorosi terjadi penurunan tegangan maksimal yang dapat diterima. Penurunan tegangan maksimal ini sebanding dengan luas area korosi dan faktor folias pipa.

Kedalaman korosi pada waktu t dengan model laju korosi linier secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut

$$D(t) = h_0 + CRt$$

dengan $D(t)$ adalah kedalaman korosi pada waktu t , h_0 merupakan kedalaman korosi awal, dan CR adalah laju korosi.

Penentuan sisa umur dapat dilakukan dengan memodelkan laju kegagalan pipa penyalur $\lambda(t)$ sebagai berikut

$$\lambda(t) = \frac{P_t - P_{t-1}}{1 - P_{t-1}}$$

dengan $\lambda(t)$ merupakan laju kegagalan pipa penyalur pada waktu t , P_t merupakan peluang kegagalan pipa penyalur pada waktu t , dan P_{t-1} adalah peluang kegagalan pipa penyalur pada waktu $t - 1$.

5. TANTANGAN

Meskipun penerapan dan pengembangan distribusi berekor sudah dilakukan para peneliti di Indonesia, baik dari aspek matematika, numerik, maupun keunggulan dalam penerapannya, masih luas tantangan di Indonesia yang bisa dilakukan oleh para matematikawan/statistikawan bersama dengan para insinyur dari berbagai bidang ilmu. Secara garis besar, hal-hal yang harus dilakukan dapat dibagi menjadi 2 (dua) bidang:

5.1 Penelitian

Pada lingkup KK Statistika, telah terjalin kerja sama penelitian yang mendalam dan berkelanjutan dengan beberapa KK di FMIPA, seperti KK Aljabar; Analisis dan Geometri; Kombinatorika; serta Matematika Industri dan Keuangan di prodi Matematika, dan KK Fisika Bumi dan Sistem Kompleks; Fisika Nuklir dan Biofisika; serta Fisika Teoritik Energi Tinggi di prodi Fisika.

Pada lingkup ITB, sejauh ini telah terjalin kerja sama penelitian yang mendalam dengan para civitas akademisi di SITH, FTI, FTTM, FTMD, FITB, dan FTSL. Kerja sama antara ilmuwan-ilmuwan di matematika dan para insinyur di rekayasa penting dikembangkan khususnya pada pemodelan stokastik untuk membangun 1) model dan 2) program numerik bagi fungsi kesintasan berekor berdasarkan fenomena rekayasa yang terjadi. Kerja sama yang sudah terjalin itu belum cukup, mengingat

banyak sekali peneliti di ITB yang mempunyai model-model spesifik. Model kesintasan bidang rekayasa (teknik material, ekologi, genetika, dan pertambangan) masih berskala laboratorium dan bekerja pada laju $\lambda(y)$. Hal ini disebabkan terbatasnya informasi (observasinya masih sedikit). Di pihak lain, di dunia industri yang digunakan adalah fungsi kesintasan $S(y)$ karena tersedia informasi yang lebih banyak khususnya data-data yang berkaitan dengan data satelit, data kerusakan (*failure*), data gempa bumi, dll. Permasalahan di pihak industri adalah sumber daya yang mengolah dan menganalisa data tersebut masih terbatas dan kurang memiliki kemampuan dalam mengembangkan model $S(y)$ yang menangkap nilai-nilai yang ekstrim khususnya nilai tinggi. Untuk bidang-bidang ilmu sosial dan/atau humaniora yang banyak dipelajari di SAPPK atau FSRD perlu dikembangkan.

Di luar ITB, kerja sama baik dalam penelitian multidisplin telah terjalin di beberapa universitas. Di dalam negeri, di bidang aktuarial telah terjalin dengan UGM, UI, UNPAD, ITS, dan ITERA. Di bidang statistika diantaranya dengan UNPAD, ITS, UNTAN, UNPATTI, UNP, UNDIP, UII, dan UNSIKA. Adapun dengan universitas luar negeri telah terjalin kerja sama dengan universitas di beberapa negara yakni UK, Australia, Amerika Serikat, Kanada, Belanda, Malaysia, Taiwan, Korea, dan Singapura. Untuk itu, perlu perhatian dari ITB khususnya FMIPA untuk menambah anggota KK Statistika yang saat ini hanya beranggotakan 9 (sembilan) orang dengan melayani S1 Matematika, S1 Aktuarial, S2

Matematika, S2 Aktuaria, S2 Pengajaran Matematika, dan S3 Matematika yang secara bersamaan terlibat di banyak penelitian di atas pada level S2 dan S3. Keterbatasan sumber daya manusia di KK Statistika akan memperlambat antisipasi perkembangan IPTEK yang pesat berkaitan dengan model-model stokastik yang akan mempengaruhi kemajuan IPTEK.

5.2 Pengabdian Masyarakat dan Pengembangan Institusi

Kerja sama kolaboratif para akademisi di KK Statistika ITB dengan industri sebagai bentuk pengabdian masyarakat sudah cukup baik, tetapi masih harus dikembangkan secara multidisiplin. Salah satu yang membutuhkan bantuan segera adalah pembuatan TMI, tabel kecelakaan, dan tabel kebakaran-banjir baik melalui BPJS maupun Persatuan Aktuaris Indonesia (PAI). Kolaborasi antar anggota KK Statistika dengan industri perlu dijaga dan dirawat sehingga ilmu-ilmu yang dikembangkan dalam pengajaran maupun penelitian bisa diterapkan di masyarakat industri. Sebagai contoh kerja sama FMIPA dengan BPJS dalam pendidikan meningkatkan SDM BPJS pada 2019 perlu dilanjutkan agar dosen-dosen muda di KK Statistika bisa lebih banyak berkiprah dalam masalah-masalah ketenagakerjaan di Indonesia. Sejauh ini yang belum disentuh adalah realisasi dari Jaminan Hari Tua (JHT) dan Jaminan Kecelakaan Kerja (JKK). Pada asuransi umum, kesuksesan kolaborasi KK Statistik dengan PT. Reasuransi Indonesia Utama pada 2016 perlu diulang. Saat itu, KK Statistik melakukan 1) FGD di lingkungan intern PT. Reasuransi dan 2)

melakukan workshop untuk perusahaan asuransi umum di luar PT Reasuransi yang membuka wawasan baru bagi aktuaris asuransi umum khususnya asuransi kebakaran. Dibutuhkan waktu, pemikiran, dan SDM yang tidak sedikit untuk mempersiapkan:

- 1) bahan FGD dan workshop,
- 2) asisten untuk praktikum sehingga praktisi bisa langsung menerapkan, dan
- 3) kebutuhan-kebutuhan non-teknis yang membuat para praktisi nyaman selama FGD dan workshop. Pada saat itu, model kesintasan dengan distribusi ekor tebal belum disampaikan. Demikian pula dengan CLV atau model-model *multistate* belum dijelaskan urgensinya.

Dalam dunia pemasaran, perlu didiseminasikan model CLV. Sebagai contoh pada asuransi kendaraan dikenal dengan model bonus malus yang juga dimodelkan sebagai suatu rantai Markov. Tentu saja model bonus malus ini bisa juga dikembangkan di asuransi kebakaran-banjir. Nasabah yang gedung atau rumahnya tidak terbakar-terkena banjir bisa mendapatkan bonus saat mengasuransikan gedung/rumahnya di tahun selanjutnya. Sebaliknya, jika mereka kurang hati-hati dan mengalami kebakaran/kebanjiran diberikan nilai premi yang sama dengan tahun sebelumnya.

6. PENUTUP

Tercapainya visi dan misi ITB serta terwujudnya fungsi tridarma perguruan tinggi oleh ITB bergantung juga pada tingkat partisipasi sivitas ITB dalam kegiatan pengembangan institusi di ITB ini, termasuk penulis sebagai salah satu guru besar di ITB. Menjadikan ITB perguruan tinggi yang unggul, bermartabat, mandiri, dan diakui dunia serta mampu mempertinggi kualitas kesejahteraan bangsa tentu memerlukan yang kuat, strategi yang tepat dan eksekutor kebijakan yang mau bekerja.

Berdasarkan rekam jejak selama penulis berkiprah di ITB, maka langkah berikutnya adalah meneruskan bidang yang sudah ditekuni disertai dengan penajaman dan perluasan agar sejalan dengan perkembangan khazanah khususnya pada distribusi ekor tebal. Langkah ini bisa tercapai jika dibuka kesempatan yang luas untuk anggota-anggota KK Statistika junior khususnya yang belum banyak berkecimpung di teori maupun aplikasi distribusi ekor tebal. Salah satu kegiatan yang akan segera diinisiasi adalah pencocokan model distribusi berekor Kumaraswamy pada TMI 2019 atau pengembangannya pada data TMI 2019.

Pengembangan garansi 1D hingga 2D akan terus ditekuni khususnya bersama peneliti-peneliti di FTI dan hasil-hasil yang didapat akan terus dikembangkan di bidang aktuaria. Paralel dengan pencocokan TMI 2019 akan diterapkan dan dikembangkan teori permainan Stackelberg dalam keputusan penentuan nilai premi atau cadangan asuransi jiwa.

Terakhir, membangun distribusi berekor yang sesuai dengan data yang ditemukan di Indonesia, baik dari data satelit maupun data survei. Penelitian distribusi ekor ini bisa berjalan baik dan lancar jika terjalin riset yang bersifat multidisiplin. Sebagai contoh riset pada pipa penyalur minyak antara KK Statistika dan KK Ilmu dan Teknik Material.

Secara paralel penulis juga akan terus menulis karya ilmiah dalam bentuk jurnal internasional bersama-sama kolega junior di prodi Matematika khususnya yang ada di KK Statistika. Jejaring kolaborasi kerja sama riset ke depan juga akan diperkuat dan diperluas, yang efek positifnya juga membuat tim mahasiswa penulis berkesempatan bersinggungan dengan bidang-bidang yang sedang dikembangkan serta menjadi wahana. Aspek pengabdian masyarakat juga akan tetap dilakukan baik penguatan sektor swasta terkait bidang keilmuan yang penulis geluti maupun upaya-upaya meningkatkan kualitas pendidikan sains dan teknologi di masyarakat. Partisipasi pengembangan institusi di ITB akan tetap penulis jalankan selama diperlukan sesuai dengan kemampuan demi terlaksananya dan tri-darma perguruan tinggi di ITB.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala karunia dan rahmat yang telah dilimpahkan-Nya hingga saat ini. Pada kesempatan yang berbahagia ini, penulis menyampaikan terima kasih dengan penuh penghargaan dan rasa hormat kepada rektor dan

pimpinan ITB, serta pimpinan dan seluruh anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada Ayah (alm.) Letkol. T. R. Pasaribu S.H., CN. dan Ibu Ietje Sumantadiwiria atas bimbingan hidup, didikan, harapan, dorongan dan doa terus menerus yang memungkinkan penulis berada di titik ini. Selanjutnya, penghargaan dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada guru-guru yang telah mendidik dan mentransfer ilmu pengetahuan sejak TK hingga perguruan tinggi, khususnya guru-guru di SD Halimun 6 Bandung, SMPN 5 Bandung, dan SMAN 3 Bandung, Prof. Dr. R.K. Sembiring pembimbing S1, (alm.) Prof. Dr. Soelaksono Sastrodihardjo yang menugasi untuk sekolah Biostatistika di Swansea-Wales Inggris, (alm.) Prof. Sunardi Wirjosudirdjo yang mengajarkan ilmu aktuaria, dan Prof. Bermawi Priyatna Iskandar, M.Sc., Ph.D., yang mengajak penulis ikut serta berkiprah dalam dunia garansi secara lebih intens hingga sekarang. Ungkapan terima kasih dengan hormat diucapkan kepada perekomendasi Prof. Pudji Astuti Waluyo, M.S, Ph.D., Prof. Eric J. Beh (*Professor of Statistics Discipline, University of Newcastle*), dan Prof. Dr. Ir. Bustanul Arifin, M. Sc. (Universitas Lampung).

Pencapaian jabatan akademik ini bukanlah semata-mata kerja keras individual, tetapi juga melibatkan dukungan dan kerja sama dari empat pilar utama yaitu kolega dosen, tendik, mahasiswa, dan institusi ITB. Oleh

karenanya, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan rasa terima kasih yang dalam kepada Dekan FMIPA beserta jajarannya, pimpinan program studi S1 dan S2 Matematika, S1 dan S2 Aktuaria, S2 Pengajaran Matematika, S2 Sains Komputasi, dan S3 Matematika. Terimakasih juga disampaikan kepada para guru dan dosen yang terhormat serta rekan-rekan kolega di Prodi Matematika yang sudah memberikan dukungan yang penuh semangat di institusi tercinta ITB. Demikian pula disampaikan rasa syukur yang tulus kepada dosen dan sejawat di KK Statistika atas doa dan suasana kekeluargaan yang terjalin khususnya pak Sapto W. Indratno, bu Kurnia N. Sari, bu Utriweni Mukhaiyar, bu Yuli S. Afrianti, dan Adilan W. Mahdiyasa yang selalu siap mendampingi untuk melaksanakan tridarma di luar jam kantor, serta untuk bu Dumaria R. Tampubolon, Ph.D. dan pak Khresna I. A. Syuhada, Ph.D. dalam memajukan S1 dan S2 Aktuaria. Tidak ketinggalan bu Hennie Husniah beserta suaminya Prof. Dr. Asep Kuswandi Supriatna, MS. yang selalu bersedia melakukan publikasi. Tak lupa juga diucapkan terimakasih kepada asisten dan mahasiswa yang telah membantu penyusunan naskah ilmiah ini, Susi Setiyowati, Nisa F. F. Ilmi, Nur F. Sa'idah, Afif Amrullah Taufiq, dan Dina Prariesa.

Terimakasih juga disampaikan kepada kolega dari SITH, FTTM, FTMD, FITB, STEI, dan FTSL yang pernah melibatkan penulis sebagai pembimbing S3 khususnya prodi Teknik Geodesi dan Geomatika, Teknik Pertambangan dan Teknik Elektro. Penulis memohon maaf apabila

terdapat nama yang terlewat untuk diucapkan. Semoga Allah SWT, membalas kebaikan semua pihak dengan balasan yang lebih tinggi nilai kebaikannya.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada kakak Alm. Kriston W. Pasaribu; dr. Ade Janwardi Pasaribu & Mba Esti; Rinie Tariantje Pasaribu & Hardi Prasetyo; Sinar Manondang Pasaribu; Hamonangan Pasaribu & Neneng; keluarga Ronaldo Pasaribu dan Evi Aviatin; Rina Djunita Pasaribu dan Reza Sutjipto; keluarga besar (alm.) O. Djunggele M. Pasaribu, S.H.; keluarga besar (alm.) Gonot Kardi di Surabaya dan Jakarta, keluarga besar Didie Wahyudi, keluarga besar Heri Akhmadi, keluarga Dr.Ir. Rozik Boedioro Soetjipto dan keluarga besar (alm.) Otjo Sumantadiwiria. Semoga Allah mencurahkan maghfirah dan rahmat-Nya senantiasa. Kepada keponakan dan adik-adik di keluarga besar, terima kasih atas dukungan dan doa serta kebersamaan selama ini.

Akhirnya, teruntuk Suami, Papa Adi Pancoro dan anak-anak tercinta: Mas Tagentar dan Teh Irma, Bang Ilham dan Teh Egidia, serta Erlang terima kasih tak terhingga atas kesetiaan mendampingi, mendoakan, menyediakan suasana ceria serta menjadi sumber lautan semangat untuk berkiprah dan berkarya.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelina, A. 2022. *Peranan Algoritma Genetika pada Penetapan Premi Asuransi Jiwa Berjangka Melalui Teori Permainan Stackelberg*. Tugas Akhir Sarjana. Institut Teknologi Bandung.
- Blattberg, R. C., Malthose, E. C., dan Neslin, S. A. 2009. Customer Lifetime Value: Empirical Generalizations and Some Conceptual Questions. *Journal of Interactive Marketing*, **23**: 157 - 168.
- Berger, P. D. dan Nasr, N. I. 1998). Customer Lifetime Value: Marketing Models and Applications. *Journal of Interactive Marketing*, **12**: 14.
- Cordeiro, G.M., Ortega, E.M.M., dan Nadarajah, S. 2010. The Kumaraswamy Weibull distribution with application to failure data. *Journal of the Franklin Institute*, **347**: 1399 - 1429.
- de Santana, J. M., Santiago, R. L., Lins, I. D., Moura, M. das C., dan Droguett, E. L. 2019. A Principal-Agent Approach for Designing Maintenance Service Contracts. *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference*, 460 - 466.
- Friedman, G. 1989. Economics. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, **505**(1): 190 - 192.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new model of determining life contingencies. *Phil. Trans. R. Soc.*, :513 - 585.
- Heydari M., Alimohammadi M., dan Shahanaghi K. 2018. Modeling product failures and determining optimal upgrade, preventive

maintenance and price decisions in two-dimensional warranty contracts. *Industrial Engineering and Management Systems*, **17**(3): 497 - 513.

Husniah, H., Pasaribu, U. S., Cakravastia, A., dan Iskandar, B. P. 2014. Performance-based maintenance contract for equipments used in mining industry. *ICMIT 2014 - 2014 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*, 543 - 548.

Husniah, H., Cakravastia, A., Iskandar, B. P., dan Pasaribu, U. S. 2016. Modelling and analysis of maintenance contract with imperfect preventive maintenance. *Proceedings of the 2015 International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment, TIME-E 2015*, 25 - 30.

Iskandar, B.P. 1992. *Modelling and analysis of two-dimensional warranty policies. PhD Thesis*. The University of Queensland.

Iskandar, B. P. dan Murthy, D. N. P. 2003. Repair-Replace Strategies for Two-Dimensional Warranty Policies. *Mathematical and Computer Modelling*, **38**: 1233 - 1241.

Iskandar B.P., Husniah, H., dan Pasaribu U.S. 2013. A servicing strategy involving preventive maintenance and imperfect repair for two-dimensional warranties. *43rd International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 16 - 18.

Iskandar, B. P., Husniah, H., dan Pasaribu, U. S. 2014. Maintenance service contracts for equipment sold with two dimensional warranties.

Quality Technology and Quantitative Management, **11**(3): 321 - 333.

Jihaduddin, F. 2022. *Studi Model Distribusi Berekor pada Waktu Antar Laporan Pelanggaran UU ITE di POLDA Jawa Barat dan POLRESTABES Bandung*. Tugas Akhir Sarjana. Institut Teknologi Bandung.

Kahreh, M. S., Tive, M., Babania, A., dan Hesani, M. 2014. Analyzing the application of customer lifetime value (CLV) based on benefit segmentation for the banking sector. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **109**: 590 - 594.

Kumaraswamy, P. 1980. A Generalized Probability Density Function for Double-bounded Random Process. *Journal of Hydrology*, **46**: 79 - 88.

Lewaherilla, N., Pasaribu, U.S., Husniah, H. dan Supriantna, A.K. 2016. A preventive maintenance and minimal repair costs model with interest rate. *American Institute of Physics*, **1716**: 1 - 9.

London, D. 1997. *Survival models and their estimation (third edition)*. Los Angeles: ACTEX Publications.

Mahdiyasa, A.W., Pasaribu, Grahito, A., Pasaribu, U.S., Indratmo, S.W., Ardy, H. 2017. *Laporan Pemodelan Sisa Usia Pipa Penyalur Minyak*.

Makeham, W. 1860. On the law of mortality and the construction of annuity tables. *Journal of the Institute of Actuaries*, **8**: 301 - 310.

Marisa. 2022. *Pemodelan Besar Klaim dengan Pendekatan Peak Over Threshold (POT) pada Data Asuransi Harta Benda*. Tesis Magister. Institut Teknologi Bandung.

Mdlongwa, P., Oluyede, B.O., Amey, A.K.A., Fagbamigbe, A.F., dan

- Makubate, B. 2019. Kumaraswamy log-logistic Weibull distribution: model, theory and application to lifetime and survival data. *Heliyon*, **5**(1): 1-3.
- Minkova, L.D. 2010. *Insurance Risk Theory*, TEMPUS Project SEE doctoral studies in mathematical science.
- Murthy, D. N. P. dan Yeung, V. 1995. Modelling and Analysis of Maintenance Service Contracts. *Mathl. Comput. Modelling*, **22**: 219 - 225.
- Murthy, D. N. P. dan Asgharizadeh, E. 1998. A Stochastic Model for Service Contract. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, **5**: 29 - 45.
- Nair, J., Wierman, A., dan Zwart, B. 2022. *The Fundamentals of Heavy Tails: Properties, Emergence, and Estimation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pareto, V. 1906. *Manuale di Economia Politica*. Societa Editrice, 13.
- Pascoa, M. A. R., Ortega, E., dan Cordeiro, G. 2011. The Kumaraswamy generalized gamma distribution with application in survival analysis. *Statistical Methodology*, **8**: 411 - 433.
- Permana, D., Pasaribu, U.S., Indratno, S.W. 2017. Classification of customer lifetime value models using Markov chain. *J. Phys. Conf. Ser.*, **893**(1): 012026.
- Pfeifer, P.E. dan Carraway, R.L. 2000. Modeling customer relationships as Markov chains. *Journal of Interactive Marketing*, **14**: 43 - 55.

- Rausand, M. dan Hoyland, A. 2004. *System Reliability Theory Models and Statistical Methods (second edition)*. New Jersey: John Willey & Sons Inc.
- Rinsaka, K. dan Sandoh, H. 2006. A stochastic model with an additional warranty contract. *Computers and Mathematics with Applications*, **51**: 179 - 188.
- Rocha, R., Nadarajah, S., Tomazella, V., Louzada, F., dan Eudes, A. 2017. New defective models based on the Kumaraswamy family of distributions with application to cancer data sets. *Statistical methods in medical research*, **26**(4): 1737 - 1755.
- Santana, T.V.F., Ortega, E.M.M., Cordeiro, G.M., dan Silva, G.O. 2012. The Kumaraswamy-log-logistic distribution. *Journal of Statistical Theory and Applications*, **11**(3): 265 - 291.
- Sari, K.N.S, Pasaribu, U.S., Indratmo, S.W., dan Mukhaiyar, U. 2022. *Laporan Evaluasi Tabel Kematian Indonesia*.
- Uncles, M. D., East, R., dan Lomax, W. 2013. Good customers: The value of customers by mode of acquisition. *Australasian Marketing Journal*, **21**: 119 - 125.
- Weibull, W. 1951. A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. *Journal of Applied Mechanics*, **18**: 293 - 297.
- Zhang, D., Xu, Q., dan Song, H. 2016. A Warranty Service Contract among Manufacturer and Agent, *Proceedings - 2015 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design, ISCID 2015*, **1**: 568 - 571.

CURRICULUM VITAE



Nama : **UDJIANNA SEKTERIA
PASARIBU**

Tmpt./tgl lahir : Bandung, 06 Agustus 1961

Kel. Keahlian : Statistika

Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung

Nama Suami : Dr. Adi Pancoro

Nama Anak : 1. Tagentar Panricas Pancoro, S.T.
2. Ilham Agung Pancoro, S. M.
3. Triadi Erlangga Pancoro

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Jenjang Pendidikan	Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Gelar	Bidang
1.	Sarjana	Institut Teknologi Bandung	1985	Dra.	Matematika
2.	Magister	University of Wales Swansea	1987	M.S.	Biostatistics
3.	Doktor	University of Wales Swansea	1993	Ph.D.	Biostatistics

II. RIWAYAT KERJA di ITB

No.	Riwayat Kerja	Tahun
1.	Pengajar Statistika dan Matematika untuk Analisis Data, Statistika Dasar, Biostatistika, Teori Peluang, Statistika Matematika, Analisis Deret Waktu, Pengantar Proses Stokastik, Analisis Multivariat, Model Linier Umum, Program Sarjana Matematika FMIPA ITB	1986 - sekarang

No.	Riwayat Kerja	Tahun
2.	Pengajar Proses Stokastik, Ukuran dan Peluang, Analisis Ruang-Waktu, Program Pascasarjana Matematika FMIPA ITB	1997 - sekarang
3.	Pengajar Proses Stokastik, Ukuran dan Peluang, Analisis Ruang-Waktu, Program Pascasarjana Matematika FMIPA ITB	2005 - sekarang
4.	Pengajar Teori Probabilitas Aktuaris, Proses Stokastik Aktuaris, Model Survival, Metode Bootstrap, Program Pascasarjana Aktuaris, FMIPA ITB	2005 - sekarang
5.	Promotor, Program Doktor Matematika FMIPA ITB	2008 - sekarang
6.	Ko-promotor, Program Doktor Teknik Industri FTI ITB	2008 - sekarang
7.	Konsultan Aktuaria, ITB	Des 2020 - sekarang
8.	Anggota Gugus Tugas Percepatan Penanganan Covid-19 ITB	Mei 2020 - sekarang
9.	Senator ITB, ITB	2017 - 2019, 2020 - sekarang
10.	Ketua Kelompok Keilmuan Statistik, Jurusan Matematika, ITB	Jan 2012 - 2019
11.	Anggota Tim Kurikulum 2013 Program Sarjana dan Pascasarjana Matematika FMIPA ITB	Okt 2011 - Juli 2018
12.	Anggota Tim Akreditasi Program Pascasarjana Ilmu Aktuaria FMIPA ITB	2010 - 2014
13.	Pengajar Biostatistika, Program Pascasarjana Biologi SITH (Sekolah Ilmu Teknologi dan Hayati) ITB	2008 - 2011
14.	Anggota Tim Kurikulum 2008 Program Sarjana dan Pascasarjana Matematika FMIPA ITB	Agu 2006 - Feb 2008
15.	Konsultan Aktuaria, ITB	2006 - 2014
16.	Ahli Statistik & Surveyor dalam Peta Sistem Penjaminan Mutu Perguruan Tinggi, LPPM IPB	2006 - 2007
17.	Sekretaris Kelompok Keilmuan Statistik, Jurusan Matematika, ITB	2006 - 2007

No.	Riwayat Kerja	Tahun
18.	Spesialis Statistik Pendidikan Tinggi, PT. LAPI ITB	2004 - 2007
19.	Ketua Kelompok Keilmuan Statistik, Jurusan Matematika, ITB	2003 - 2005
20.	Ahli Statistik Senior, Forum Rektor (Pemilu 2004)	2003 - 2004
21.	Pengajar Statistika Terapan Program Doktor Arsitektur FTSP ITB	2002 - 2004
22.	Sekretaris Pelaksana, Program Pascasarjana Ilmu Aktuaria Jurusan Matematika FMIPA ITB	2002 - 2004
23.	Ketua Kelompok Keilmuan Proses Stokastik dan Deret Waktu, Departemen Matematika, ITB	2001 - 2005
24.	Pengajar Statistik Peluang, Program Pascasarjana Arsitektur	2001 - 2002
25.	Sekretaris Kelompok Keilmuan Statistik, Jurusan Matematika, ITB	2000 - 2003
26.	Manajer Keuangan QUE Matematika, Jurusan Matematika, ITB	1999 - 2001
27.	Konsultan Statistik Forum Rektor (Pemilu 1999)	1999
28.	Kepala Laboratorium Statistika Jurusan Matematika ITB	1998 - 2003
29.	Ko-promotor, Program Doktor Matematika FMIPA ITB	1996 - 2008
30.	Pengajar Biometri, Program Pascasarjana Biologi, SITH ITB	1995 - 2000
31.	Program Asisten, PIKSI ITB	1985 - 1986

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

No.	Pangkat	Golongan	TMT
1.	CPNS		01 Maret 1987
2.	PNS		01 Oktober 1994
3.	Penata Muda	III/A	30 Juni 1987
4.	Penata Muda TK 1	III/B	11 Juli 1997
5.	Penata	III/C	10 Mei 1999

No.	Pangkat	Golongan	TMT
6.	Penata TK 1	III/D	04 Januari 2002
7.	Pembina	IV/A	26 Juni 2008
8.	Pembina TK 1	IV/B	22 April 2022

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	Pangkat	TMT
1.	Asisten Ahli	01 Desember 1995
2.	Lektor Muda	01 Desember 1998
3.	Lektor	01 Januari 2001
4.	Lektor Kepala	01 Oktober 2007
5.	Profesor/Guru Besar	1 Oktober 2021

V. KEGIATAN PENELITIAN

V.1. Kegiatan Penelitian (sebagai PI dalam 5 tahun terakhir)

No.	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun
1.	Modelling and Understanding Indonesian Peatland for Sustainable Development	Program Pendanaan Riset Inovatif Produktif Mandatori Bertema UK-Indonesia Consortium for Interdisciplinary Sciences	2022 - 2025
2.	Analisis Hubungan dan Efektivitas Vaksinasi di Kota Bandung Pada COVID-19 Yang Bermutasi Melalui Deret waktu-Regresi	Riset Unggulan ITB - LPPM	2022
3.	Potret Kesehatan Masyarakat dan Lingkungan Kota Bandung di masa Adaptasi Kebiasaan Baru melalui Pengklasteran Peta Korespondensi	Riset Unggulan ITB - LPPM	2021

No.	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun
4.	Konvergensi Solusi Kasus Pemeliharaan Alat Berat Melalui Algoritma Genetika (Studi Kasus: 2 Pihak dengan Maksimum 8 Opsi)	PPMI ITB Fakultas	2021
5.	Peta Penyebaran Penderita Covid-19 di Indonesia dan Prakiraan Forecasting dengan Pendekatan Model Spasial-Temporal	Riset-Dikti-Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD/PTM/PMDSU dan PTP/Hibah Pasca)	2020 - 2021
6.	Model Campuran Linier Multivariat Dengan Metode Bayes	Riset-Dikti-Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD/PTM/PMDSU dan PTP/Hibah Pasca)	2019 - 2020
7.	Pengembangan Model Regresi Ruang-waktu GSTAR dengan Ruang Keadaan Berdistribusi Diskrit	Riset-Dikti-Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD/PTM/PMDSU dan PTP/Hibah Pasca)	2020 - 2021
8.	Peranan Dekomposisi Tucker3 pada Analisis Korespondensi Tiga-Arah (I)	PPS-PDD/PTM/PMDSU dan PTP/Hibah Pasca	2019 - 2020
9.	Rekomendasi Pemupukan di Perkebunan Sawit berdasarkan Sifat Fisika dan Kimia Tanah Melalui Pendekatan Probabilistik Analisis Komponen Utama Regresi (Akur) dan Pohon Klasifikasi (II)	Riset-Dikti-Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD/PTM/PMDSU dan PTP/Hibah Pasca)	2019
10.	Konstruksi Grafik Pengendali Double Sampling untuk Koefisien Variasi	Riset-Dikti-Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD/PTM/PMDSU dan PTP/Hibah Pasca)	2019
11.	Estimasi Cadangan Mineral melalui Analisis Kuantitatif Stratigrafi Sedimentasi menggunakan Model Ruang-Waktu GSTAR	Riset-Dikti-Penelitian Kompetitif Nasional (PSN Institusi/MP3EI)	2017

No.	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun
12.	Kajian Kekonvergenan Penaksir Parameter Model GSTAR Berbobot Kernel; Studi Kasus : Estimasi Cadangan Batubara melalui Data Stratigrafi	Riset KK A	2017

V.2. Kegiatan Penelitian (sebagai Anggota dalam 5 tahun terakhir)

No.	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun
1.	Komparasi Ukuran Jarak Manhattan, Euclidean, dan Minkowski pada Algoritma Kluster Hirarki Divisif untuk Vektor Acak Berdimensi $p > 10$ Studi Kasus: Data Tutupan Lahan Provinsi Jawa Barat dan Jawa Timur	PPMI Fakultas	2022
2.	Layanan Purna Jual (Garansi Produk dan Pemeliharaan) untuk Industri 4.0	Ristek-Dikti-Penelitian Penugasan (WCR)	2019 - 2020
3.	Model Kontrak Sewa (Lease Contract) untuk Armada Alat Berat pada Perusahaan Pertambangan	Riset-Dikti-Penelitian Desentralisasi (PDUPT/PTUPT)	2018 - 2020
4.	Model Layanan Purna Jual untuk Alat Berat Manufaktur	Riset-Dikti-Penelitian Desentralisasi (PDUPT/PTUPT)	2017 - 2019
5.	Kontrak Pemeliharaan Alat Berat Melibatkan Tiga Pihak- Pemanufaktur, Agen dan Konsumen dalam Situasi Kompetitif/Kooperatif	Riset-Dikti-Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD/PTM/PMDSU dan	2016 - 2018

VI. PUBLIKASI

VI.1. JURNAL INTERNASIONAL

No.	Nama Penulis dan Judul Publikasi	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol., Halaman
1.	B. P. Iskandar, N. F. Saidah, U. S. Pasaribu , A. Cakravastia, H. Husniah. 2022. Warranty and Maintenance Service Contracts for Repairable Products	Alexandria Engineering Journal, 61(12), 10819-10835.
2.	N. Nuraini, K. K. Sukandar, M. Y. T. Tahu, E. A. G. Rachman, A. Barlian, S. H. Suhardi, U. S. Pasaribu , S. Yuliar, D. Mudhakir, H. D. Ariesyady, D. Rosleine, I. Sofyan, W. Martokusumo. 2022. Infectious Disease Modeling with Socio-Viral Behavioral Aspects-Lessons Learned from the Spread of SARS-CoV-2 in a University	Tropical Medicine and Infectious Disease, 7(10), 289.
3.	U. Mukhaiyar, N. M. Huda, I. G. Andirasdini, U. S. Pasaribu . 2022. Forecasting of Dengue Hemorrhages Fever Cases with Autoregression Distributed Lag Model using Poisson Regression Approach	Biostatistics & Epidemiology, 1, 1-10
4.	K. Oginawati, R. J. Nathanael, U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar, A. Humam, N. F. F. Ilmi, S. H. Susetyo. 2022. Analysis of the Effect and Role of Indoor Environmental Quality in the COVID-19 Transmission	Aerosol and Air Quality Research 22, 210339
5.	I. Ginanjar, U. S. Pasaribu , E.J. Beh, S.W. Indratno. 2021. Identifying The Potential For Online And Mobile Application Use Forbus Passengers In Westjava Using Simplification of Correspondence Analysis	ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 16, No. 20, October 2021
6.	U. S. Pasaribu , K. E. Lestari, S. W. Indratno, H. Garminia, R. R. K. N. Sari.	Journal of Hunan University Natural Sciences, 48 (5), 105-115.

No.	Nama Penulis dan Judul Publikasi	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol., Halaman
	2021. Some Properties of the Scaled Burt Matrix on Multiple Correspondence Analysis	
7.	U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar, N. M. Huda, K. N. Sari, S. W. Indratno. 2021. Modelling COVID-19 growth cases of provinces in java Island by modified spatial weight matrix	Heliyon, 7 (2), e06025.
8.	F. Rozi, U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar, D. Irianto. 2021. Optimal Design of a Revised Double Sampling $\bar{X}$ Chart Based on Median Run Length	Journal of Hunan University Natural Sciences, 48(7), 355-361.
9.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , R. Wangsaputra, B. P. Iskandar. 2021. Condition-based maintenance policy for a leased reman product	Heliyon 7 (4), e06494.
10.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2021. Multi-period lease contract for remanufactured products	Alexandria Engineering Journal, 60 (2), 2279-2289.
11.	K. E. Lestari, U. S. Pasaribu , S.W. Indratno, H. Garminia. 2020. Toward Enhacement of higher education quality by alumni tracking using correspondence analysis	International Journal of Innovation, Creative and Change, Online ISSN: 2201-1323.
12.	K. E. Lestari, U. S. Pasaribu , S.W. Indratno, H. Garminia. 2020. Generating roots of cubic polynomials by Cordano's approach on correspondence analysis	Heliyon, 6(6), e03998
13.	H. Husniah, H. A. Maulana, U. S. Pasaribu , B.P. Iskandar. 2019. Two-dimensional lease contract with preventive maintenance using bivariate Weibull	International Journal of Industrial Engineering, Volume 26, Issue 1, Online ISSN 1943-670X

No.	Nama Penulis dan Judul Publikasi	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol., Halaman
14.	S. N. Hertiana, A. Kurniawan, U. S. Pasaribu . 2018. Effective Router Assisted Congestion Control for SDN	International Journal on Electrical Engineering & Invormatics, Volume 8, Issue 6.
15.	S. N. Hertiana, A. Kurniawan, U. S. Pasaribu . 2018. Optimal Rate Allocation for Congestion Control Support in SDN	International Journal on Electrical Engineering & Invormatics, Volume 10, Issue 2.
16.	N. F. Saidah, A. Cakravastia, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2017. Optimal Maintenance Service Contract for Repairable Equipment Involving Three Parties-Manufacturer, Agent and Customer	International Journal of Management and Applied Sience (IJMAS), Volume 3, Issue-2, ISSN. 2394-7926.
17.	Yundari, U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar. 2017. Error Assumptions on Generalized STAR Model	J. Math. Fund. Sci., Vol. 49, ISSN:2337-5760.
18.	R. Virtriana, I. Sumarto, A. Deliar, U. S. Pasaribu . 2017. Generating Land Use/Land Cover Change Index for Satellite Images Data Verification (Case Study: West Java Province)	International Journal of Tomography & Statistics, Vol. 30, Issue Number: 1.
19.	S. Vantika, U. S. Pasaribu . 2017. Markov Chain for Estimating Human Mitochondrial DNA Mutation Pattern	Journal of Mathematics and Statistical Science, Volume 2016, 336-342.
20.	D. Permana, A. R. Effendie, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, Suprayogi. 2016. Modelling of Dynamical Interest RatesUsing Binomial and Trinomial Trees	Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS), Vol. 99, Num. 6, 909-920.
21.	I. Ginanjar, U. S. Pasaribu , A. Barra. 2016. Simplification of Correspondence Analysis for More Precise Calculation Which One Qualitative Variables Is Two Categorical Data	ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 3.

No.	Nama Penulis dan Judul Publikasi	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol., Halaman
22.	K. N. Sari, O. Neswan, U. S. Pasaribu , A. K. Permadi. 2016. Semi variogram Modeling Using Mixture Semi variogram	ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 3.
23.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2016. Service Contract Management with Availability Improvement and Cost Reduction	ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 10, No. 1.
24.	H. J. Wattimanela, U. S. Pasaribu , N. T. Puspito, S. W. Indratno. 2015. Classification of Earthquake Distribution in the Banda Sea Collision Zone with Point Process Approach	World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental Chemical ,Ecological, Geological and Geophysical Engineering, Vol. 12.
25.	K. N. Sari, U. S. Pasaribu , O. Neswan, A. K. Permadi. 2015. Estimation of The Parameters of Isotropic Semi variogram Model Through Bootstrap	Applied Mathematical Science, Vol. 9, No. 103, 5123-5137.
26.	Yundari, U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar. 2015. Kernel Densiy Estimation on Online Sales Data	Australia Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 9(28), 111-116, ISSN. 1991-8178.
27.	D. Permana, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, Suprayogi. 2015. The Probability of First-time and Estimation of the Customer Lifetime Value in Health Insurance Data Using Markov Chain Model	International Journal of Applied Mathematics and Statistics, Vol. 53, Issue No. 3.
28.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2015. A New Servicing Strategy Involving Imperfect Repair For Two-Dimensional Warranties	International Journal of Applied Mathematics and Statistics, Vol. 53, Issue No. 4.
29.	U. S. Pasaribu , H. Husniah, B. P. Iskandar, J. Huang. 2015. A Mathematical Model for Imperfect Maintenance Contract	International Journal of Applied Mathematics and Statistics, Vol. 53, Issue No. 2.

No.	Nama Penulis dan Judul Publikasi	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol., Halaman
30.	U. S. Pasaribu , F. Al-Ma'shumah, D. Permana. 2015. Estimation of the Transition Matrix in Markov Chain Model of Customer Lifetime Value Using Flower Pollination AlgorithmModel	Applied Mathematical Science, Vol. 9.
31.	B.P. Iskandar, H. Husniah, U. S. Pasaribu . 2014. Maintenance Service Contracts for Equipment Sold with Two Dimensional Warranties	Quality Technology & Quantitative Management, Vol. 11, No. 3, 321 - 333.
32.	H. J. Wattimanela, U. S. Pasaribu , N. T. Puspito, S. W. Indratno. 2014. Earthquake Classification in Molucca Collision Zone Using Conventional Statistical Methods	World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental Ecology, Geological and Mining Engineering, Vol. 8 No. 12.

VI.2. JURNAL NASIONAL

No.	Nama Penulis dan Judul Publikasi	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol., Halaman
1.	U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar, N. F. F. Ilmi, H. Husniah. 2021. Correspondence Analysis on Tracer Study Data Using Confidence Circle (Study Case: Alumni of Institut Teknologi Bandung, Batch 2008 and 2009)	Internetworking Indonesia Journal, 12(1), 1-37.

VI.3. CHAPTER BOOK

No.	Nama Penulis, Tahun, dan Judul Publikasi	Nama Buku dan Halaman
1.	S. Vantika, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, A. Pancoro. 2021. Estimating Corn Weight Using Mixed Model with Linear Covariance Function Matrix	Cyber Physical, Computer and Automation System: A Study of New Technologies, 1291, 169-180.
2.	U. S. Pasaribu , K. A. Canyarasmi. 2015. Film Story Structure and Shot Type Analysis Using One-Way ANOVA, Kruskal-Wallis Test, and Poisson Distribution Test	Mathematics and Computing, 251-264

VI.4. PROSIDING INTERNASIONAL

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
1.	U. Mukhaiyar, F. T. Nabilah, U. S. Pasaribu , N. M. Huda. 2022. The Space-Time Autoregressive Modelling with Time Correlated Errors for The Number of Vehicles in Purbaleunyi Toll Gates	Journal of Physics: Conference Series 2243 (1), 012068
2.	K. Oginawati, R. J. Nathanael, U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar, A. Humam, N. F. F. Ilmi. 2022. Analysis of behavioral factors in the spread of COVID-19 in Coblong District, Bandung, West Java, Indonesia.	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1065 (1), 012017
3.	H. Husniah, R. Wangsaputra, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2021. Cost Analysis for Two Dimensional Warranted Products Protected by Lemon Laws Considering Multi Component System	2021 5th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS), Pages 276-280, Publisher IEEE.

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
4.	Y. S. Afrianti, H. Ardy, U. S. Pasaribu , F. D. E. Latief. 2021. Identification of Inhomogeneous Temperature on Stainless Steel using Statistical Analysis	Journal of Physics: Conference Series, 2084 (1), 012008.
5.	U. Mukhaiyar, B. I. Bilad, U. S. Pasaribu . 2021. The Generalized STAR Modelling with Minimum Spanning Tree Approach of Weight Matrix for COVID-19 Case in Java Island	Journal of Physics: Conference Series, 2084 (1), 012003.
6.	T. S. Edriani, U. S. Pasaribu , Y. S. Afrianti, N. N. W. Astute. 2021. The Geometric Brownian Motion of Indosat Telecommunications Daily Stock Price During the Covid-19 Pandemic in Indonesia	Journal of Physics: Conference Series, 2084 (1), 012012.
7.	U. Mukhaiyar, N. M. Huda, K. N. Sari, U. S. Pasaribu . 2020. Analysis of Generelized Spacetime Autoregressive with Exogenous variable (GSTARX) model with outlier factor	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1496, Issue 1, 012004.
8.	U. S. Pasaribu , N. Nurhayati, N. F. F Ilmi, K. N. Sari. 2020. Determininig soil fertility using principal component regression analysis of oil palm plantation in West Sulawesi, Indonesia	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1494, hal 012013.
9.	K. E. Lestari, U. S. Pasaribu , S.W. Indratno. 2019. Graphical depiction of three-way association in contingency table using higher-order singular value decomposition Tucker3	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1280, Issue 2, 022035
10.	U. S. Pasaribu , H. Husniah, K. N. Sari, A. R. Yanti. 2019. Pricing critical illness insurance premiums using multiple state continous Markov chain model	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1366, Issue 1, 012112.

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
11.	U. Mukhaiyar, N. M. Huda, K. N. Sari, U. S. Pasaribu . 2019. Modeling dengue fever cases by using GSTAR (1;1) model with outlier factor	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1366, Issue 1, 012122.
12.	N. F. Sa'idah, A. Cakravastia, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2019. Optimal decision for two dimensional maintenance service contract involving three parties	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1245, Issue 1, 012052.
13.	S. Viridi, M. Dwitasari, M. Takaendengan, K. N. Sari, U. S. Pasaribu . 2019. Traffic flow simulation using agent-based model: A case of single lane with multiple traffic lights and input-output node	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1245, Issue 1, 012011.
14.	K. E. Lestari, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, H. Garminia. 2019. The comparative analysis of dependence for three-way contingency table using Burt matrix and Tucker3 in correspondence analysis	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1245, Issue 1, 012056.
15.	A. W. Mahdiyasa, U. S. Pasaribu . 2019. Multiple correspondence analysis using Burt matrix: A study of Bandung Institute of Technology student characteristic	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, Vol. 598, Issue 1, 012012.
16.	K. E. Lestari, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, H. Garminia. 2019. The reliability of crash car protection level based on the circle confidence region on correspondence plot	IOP Publishing, Vol. 598, Issue 1, 012061.
17.	F. Rozi, U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar, D. Irianto. 2019. Modified double smpling control chart for monitoring the coefficient of variation	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, Vol. 598, Issue 1, 012110.

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
18.	U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar, M. N. Heriawan, Yundari. 2018. Spatial weight determination of GSTAR (1;1) model by using kernel function	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 1028, Issue 1, 012223.
19.	D. Permana, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno. 2017. Classification of customer lifetime value models using Markov chain	Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 893, Issue 1, 012026.
20.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2018. Lease contract in usage based remanufactured equipment service system	IFIP International Conference on Advances in Production Management System, Springer, 198-205.
21.	D. Permana, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, S. Suprayogi. 2018. Convergence of transition probability matrix in CLV Markov models	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, Vol. 335, Issue 1, 012046.
22.	B.P. Iskandar, R. Wangsaputra, U. S. Pasaribu , H. Husniah. 2018. Optimal lease contract for remanufactured equipment	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, Vol. 319, Issue 1, 012070.
23.	U. S. Pasaribu , Y. Bayuzetra, L. E. Gunawan, H. Husniah. 2018. Maintenance policy in public-transport involving government subsidy	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, Vol. 306, Issue 1, 012127.
24.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , A. Cakravastia, B. P. Iskandar. 2018. The impact of fleet size on remanufactured product with usage-based maintenance contract	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering.
25.	N. F. Saidah, A. Cakravastia, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2017. Bi-level optimization for maintenance service contracts involving three parties using genetic algorithm	International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 1911-1915.

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
26.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2017. Two-dimensional lease contact model with coordination for new and used equipment	International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 994-998.
27.	S. N. Hertiana, A. Kurniawan, U. S. Pasaribu . 2017. Path associativity centralized explicit congestion control (PACEC) for SDN	International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communication (ICCREC), IEEE, 18-23.
28.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , A. K. Supriatna, B. P. Iskandar. 2017. Optimal number offleet maintenance contract with policy limit cost	International Conference on Control, Decision, and Information Technologies (CoDIT), IEEE, 876-880.
29.	I. Ginanjar, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno. 2017. A measures for objects clustering in principal component analysis biplot: Acase study in inter-city buses maintenance cost data	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1827, Issue 1, 020016.
30.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2016. Two-dimensional maintenance contact with coordination between owner and agent	International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE, 516-520.
31.	Yundari, U. S. Pasaribu , U. Mukhaiyar. 2016. Time series analysis using semiparametric regression on oil palm production	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1723, Issue 1, 030024.
32.	Bustami, U. S. Pasaribu , H. Husniah. 2016. Service contract on Renault Kerax 440 truck with deductible and policy limit coverage modification	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1716, Issue 1, 020001.
33.	A. Nasrum, U. S. Pasaribu , H. Husniah. 2016. Service contract on Renault Kerax 440 truck with deductible and policy limit coverage modification	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1716, Issue 1, 020006.

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
34.	N. Lewaherilla, U. S. Pasaribu , H. Husniah. 2016. A preventive maintenance and minimal repair costs model with interest rate	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1716, Issue 1, 020005.
35.	H. J. Wattimanela, U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, A. N. T. Puspito. 2015. Earthquakes clustering based on the magnitude and the depths in Molluca Province	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1692, Issue 1, 020021.
36.	H. Julie, U. S. Pasaribu , A. Pancoro. 2015. The distribution of genome shared identical by descent for a pair of full sibs by means of the continous time Markov chain	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1692, Issue 1, 020007.
37.	S. Vantika, U. S. Pasaribu . 2015. Markov chain for estimating human mitochondrial DNA mutation pattern	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1692, Issue 1, 020007.
38.	A. Widyawan, U. S. Pasaribu , Heninttyas, D. Permana. 2015. Estimation of customer lifetime value of a health insurance with interest rate obeying uniform distribution	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1692, Issue 1, 020030.
39.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , B. P. Iskandar. 2015. Optimal preventive maintenance for a fleet of dump truck with two-dimensional lease contract	International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE, 1067-1071.
40.	H. Husniah, A. Cakravastia, B. P. Iskandar, U. S. Pasaribu . 2015. Modelling and analysis of maintenance contract with imperfect preventive maintenance	International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment (TIME-E), IEEE, 25-30.
41.	R. Virtriana, I. Sumarto, A. Deliar, U. S. Pasaribu , M. Taufik. 2015. Identification of Bogor regency land cover change index based on geospatial data	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1658, Issue 1, 060004.

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
42.	R. Virtriana, I. Sumarto, A. Deliar, U. S. Pasaribu , M. Taufik. 2015. Model of land cover change prediction in West Java using cellular automata-Markov chain (CM-MC)	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1658, Issue 1, 060008.
43.	U. S. Pasaribu , S. W. Indratno, U. Mukhaiyar, Y. S. Afrianti, K. N. Sari. 2015. The effect of weight in mean arithmetic to estimate total fruit harvest	AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, Vol. 1651, Issue 1, 105-109.
44.	H. Husniah, U. S. Pasaribu , A. Cakravastia, B. P. Iskandar. 2015. Maintenance contract with dynamic operating conditions	International 9th International Conference on Mathematical Methods in Reliability, Tokyo.

VI.5. PROSIDING NASIONAL

No.	Nama Penulisan dan Judul Publikasi	Nama Prosiding, Vol., Halaman
1.	U. S. Pasaribu , N. F. F. Ilmi, D. Siahaan, F. Jihaduddin, U. Mukhaiyar. 2021. Analisis Lima Faktor Lingkungan Rumah Penyintas Covid-19 di Kota Bandung Melalui Analisis Komponen Utama: Studi Kasus: Kelurahan Dago dan Sekeloa, Kecamatan Coblong	E-Prosiding Nasional Departemen Statistika FMIPA Universitas Padjadjaran, Volume 10, Issue 2.
2.	U. S. Pasaribu , A. W. Mahdiyasa, N. F. F. Ilmi, U. Widyatna. 2021. Prakiraan Nilai Kredit Bank di Jawa Barat Melalui Analisis Deret Waktu	E-Prosiding Nasional Departemen Statistika FMIPA Universitas Padjadjaran, Vol. 10, Issue 2
3.	U. S. Pasaribu , A. W. Mahdiyasa, N. F. F. Ilmi, U. Halimah. 2021. Analisis Pengaruh Covid-19 terhadap Premi Perusahaan Asuransi Jiwa di Amerika Serikat	E-Prosiding Nasional Departemen Statistika FMIPA Universitas Padjadjaran, Vol. 10, Issue 2

VI.6. HAK CIPTA

Tanggal Surat Dan Tanggal Daftar	13 August 2020
Judul Ciptaan	Program Komputer Skrip Python: Menentukan Nilai Singular Matriks Residual Standar Dari Tabel Kontingensi 4×J Dan 5×J Pada Analisis Korespondensi Pendanaan: Penelitian Disertasi Dosen Kemenristek/BRIN 2020
Pencipta	1. Dr. Karunia Eka Lestari 2. Prof. Udjianna S. Pasaribu, Ph.D. 3. Sapto W. Indratno, Ph.D. 4. Dr. Hanni Garminia Y.
No. Agenda Pendaftaran	EC0020 2027704
No. Pencatatan	000200031
Status Akhir	Granted

VII. PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan
1.	Satyalancana Karya Satya 10 Tahun
2.	Satyalancana Karya Satya 20 Tahun
3.	Satyalancana Karya Satya 30 Tahun

VIII. SERTIFIKASI

No.	Nama Sertifikasi	Pemberi Sertifikasi	Tahun
1.	Sertifikasi Dosen	Kementerian Pendidikan Nasional	2009



Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132

Telp. (022) 2512532, E-mail: sekretariat-fgb@pusat.itb.ac.id

 fgb.itb.ac.id

 [FgbItb](https://www.facebook.com/FgbItb)

 [FGB_ITB](https://twitter.com/FGB_ITB)

 [@fgbitb_1920](https://www.instagram.com/fgbitb_1920)

 [Forum Guru Besar ITB](https://www.youtube.com/ForumGuruBesarITB)

