



Analisis Data Tersensor Kanan dengan Metode Cox Proportional Hazard Model

La Ode Nashar ^{✉1}, Asriadi², Dewi Rahmawaty Isa³

^{1,3}(S1 Statistika, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia)

²(S1 Matematika, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia)

email: laode.nashar@ung.ac.id¹, asriadi@ung.ac.id², dewirahmawatyisa@gmail.com³

Received 15 Agustus 2022,

Accepted 9 September 2022,

Published 30 September 2022

Abstrak

Pada penelitian data antar waktu peneliti sering menghadapi masalah kurangnya waktu dan anggaran yang tersedia. Sehingga sering dijumpai adanya data tersensor. Data tersensor dapat dianalisis dengan metode partial likelihood. Namun kendala yang lain akan muncul jika pada data yang diolah terdapat *ties*. Sehingga perlu menggunakan metode lain yang dapat mengatasi adanya kejadian bersama. Pada penelitian ini digunakan metode *breslow* untuk melakukan estimasi pada data tersensor dengan adanya kejadian bersama. Metode ini diterapkan pada kasus pasien dengan luka bakar. Variabel yang digunakan adalah metode pengobatan, jenis kelamin, ras dan tipe luka bakar. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa ras tidak memberi perbedaan yang signifikan terhadap kejadian pemotongan organ tubuh yang terbakar. Sedangkan tiga variabel lainnya menunjukkan perbedaan signifikan pada tingkat kepercayaan 95%. Hasil analisis dengan metode *cox proportional hazard* menunjukkan bahwa pasien yang diobati dengan metode *body cleansing* memiliki risiko dilakukannya pemotongan 17% lebih besar dibanding yang diobati dengan metode *routine bathing*.

Kata Kunci: data tersensor kanan; kurva kaplan-meier; hazard; cox proportional hazard model; metode breslow.

Abstract

In time series data research, it is often encountered the problem of lack of available time and budget. So often found the presence of censored data. Censored data can be analyzed using the partial likelihood method. However, other obstacles will arise if the processed data contains ties. So it is necessary to use other methods that can overcome the co-occurrence. In this study, the Breslow method is used to estimate the censored data due to joint events. This method is applied to the case of patients with burns. The variables used are the method of treatment, gender, race and type of burn. The results of the analysis showed that race did not give a significant difference to the incidence of cutting burned organs. While the other three variables showed significant differences at the 95% confidence level. The results of the analysis using the Cox proportional hazard method showed that patients treated with the body cleansing method had 17% greater risk of cutting than those treated with the body routine bathing.

Keywords: right censored; kaplan-meier; hazard; cox proportional hazard model; breslow method

✉ Corresponding author

PENDAHULUAN

Salah satu kendala yang dihadapi peneliti ketika melakukan penelitian survival adalah terbatasnya waktu dan anggaran yang disediakan. Kedua kendala ini mengakibatkan adanya variabel penelitian yang tidak dapat diamati secara utuh, sehingga mengakibatkan adanya data yang tidak lengkap. Data tidak lengkap mengakibatkan perlunya pendekatan yang dilakukan peneliti dalam melakukan analisis data. Secara umum, data tidak lengkap dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu data terpotong dan data tersensor[1].

Data dikatakan terpotong jika objek penelitian telah mengalami kejadian (*event*) sebelum pengamatan mulai dilakukan. Sehingga objek tersebut tidak dijadikan sebagai bagian data penelitian. Data terpotong dibagi menjadi dua, yaitu data terpotong kiri dan data terpotong kanan. Selanjutnya, data dikatakan tersensor jika peneliti tidak mengetahui secara pasti waktu kejadian (*event*) dialami oleh sampel penelitian. Waktu kejadian ditentukan dengan perkiraan yang dilakukan oleh peneliti berdasarkan informasi yang diperoleh mengenai sampel penelitian[2].

Penelitian ini difokuskan pada data tersensor, khususnya tersensor kanan. Data dikatakan tersensor kanan apabila variabel pengamatan diketahui waktu dimulainya pengamatan namun tidak diketahui waktu terjadinya peristiwa yang diamati (*event*)[3]. Analisis pada data tersensor kanan dilakukan dengan menggunakan data waktu berhentinya proses pengamatan meskipun objek yang diamati belum mengalami *event*[4].

Jika $f(x)$ merupakan fungsi densitas variabel random X maka $S(T)$ merupakan fungsi survival variabel random T yang digunakan untuk mengestimasi probabilitas terjadinya *event* terhadap variabel random T setelah waktu t , dengan $S(T) = 1 - f(t)$. Sehingga fungsi survival dapat pula dikatakan sebagai peluang terjadinya *event* pada suatu objek setelah waktu t [5].

Analisis data tersensor kanan dengan menggunakan metode *Cox Proportional Hazard Model* digunakan untuk menentukan besarnya risiko terjadinya kejadian pada tiap-tiap objek penelitian. Sehingga untuk dua objek yang mengalami perlakuan berbeda dapat diketahui rasio perbandingan risiko terjadinya *event* dengan menggunakan perbandingan hazard rasio[6].

Definisi 1[7] Diberikan T himpunan waktu kejadian t dan $Z(t)$ adalah faktor risiko yang mempengaruhi distribusi T . Jika β adalah vektor parameter dari model regresi, maka regresi *cox proportional model* adalah sebagai berikut :

$$h(t | Z(t)) = h_0(t) \exp(\beta' Z(t)) \quad (1)$$

dengan $h_0(t)$ adalah *baseline hazard*.

[8] *Baseline hazard* pada persamaan (1) berdistribusi non parametrik yang mengakibatkan besarnya risiko terjadinya *event* pada setiap objek penelitian termultiplikasi dengan karakteristik perlakuan terhadap masing-masing objek. Jika

baseline hazard setiap individu bernilai sama pada saat t , maka risiko terjadinya *event* setiap objek hanya dibedakan oleh karakteristiknya masing-masing. Sehingga risiko terjadinya *event* pada setiap objek penelitian dengan karakteristik perlakuan yang berbeda dapat dibandingkan dengan menggunakan persamaan :

$$H = \frac{h_0(t)e. (\beta'Z(t))}{h_0(t)e. (\beta'Z^*(t))} = e. \left[\sum_{i=1}^p \beta_i(z_i - z_i^*) \right] \quad (2)$$

Jika data mengikuti distribusi parametrik tertentu maka estimator terbaiknya dapat ditentukan dengan metode maksimum likelihood. Estimasi parameter dengan metode maksimum likelihood dilakukan dengan memaksimumkan fungsi likelihood. Metode maksimum likelihood menggunakan nilai pada ruang parameter untuk menentukan estimator terbaik[9].

[10]Permasalahan yang muncul dalam melakukan analisis data tersensor kanan ketika melakukan estimasi parameter dengan metode maksimum likelihood adalah adanya data tersensor. Data tersensor mengakibatkan adanya bias jika melakukan estimasi dengan menggunakan fungsi likelihood. Sehingga perlu melakukan manipulasi pada persamaan likelihood dengan melibatkan fungsi survival.

[11][12]Fungsi likelihood untuk data tersensor kanan adalah sebagai berikut :

$$L(\theta) \propto \prod_{i=1}^n f(t_i, \theta)^{\delta_i} S(t_i, \theta)^{1-\delta_i} \quad (3)$$

Dengan θ adalah parameter yang akan diestimasi dan $\delta = 1$ jika data tidak tersensor serta $\delta = 0$ jika data tersensor kanan. Penentuan estimator terbaik dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi loglikelihood. Fungsi loglikelihood diperoleh sebagai berikut :

$$l(\theta) \propto \sum_{i=1}^n \delta_i f(t_i, \theta) + \sum_{i=1}^n (1 - \delta_i) S(t_i, \theta) \quad (4)$$

Pada regresi *cox hazard proportional model* terdapat *baseline hazard* $h_0(t)$ yang berdistribusi nonparametrik, sehingga parameternya tidak dapat diestimasi menggunakan persamaan (3) dan (4). Pada penelitian ini estimasi dilakukan dengan menggunakan metode *breslow*. Keunggulan dari metode *breslow* adalah dapat digunakan pada regresi *cox proportional hazard model* meskipun data yang dianalisis mengandung *ties*. Metode *breslow* mengasumsikan bahwa besarnya risiko terjadinya *event* pada *ties* adalah sama[13].

Terdapat beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini, diantaranya adalah Model regresi *cox proporsional hazard* pada data ketahanan hidup, Analisis Regresi *Cox Proportional Hazard* pada pemodelan waktu tunggu mendapatkan pekerjaan, Model Regresi *Cox Proportional Hazard* pada data durasi proses kelahiran dengan *ties*, Estimasi Parameter *Cox Parametric Hazards Model* dengan Metode Efron.

Penelitian-penelitian tersebut membahas penerapan regresi *cox proporsional model* dengan metode estimasi yang berbeda-beda.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, penulis mencoba menggabungkan beberapa metode yang digunakan pada beberapa penelitian relevan sekaligus mencoba menerapkan metode yang berbeda dalam melakukan estimasi parameter model regresi *cox proportional hazard model*. Penelitian ini menggunakan metode *breslow* yang selanjutnya melakukan studi kasus pada data penanganan luka bakar.

[14][15]Proses estimasi dengan metode *breslow* merupakan pengembangan dari metode *partial likelihood* yang tidak dapat digunakan pada regresi *cox proportional model* dengan data mengandung waktu kejadian bersamaan (*ties*). Proses estimasi parameter dengan metode *breslow* mengikuti persamaan berikut :

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \frac{e^{(\sum_{j=1}^p \beta_j S_k)} e^{(\sum_{j=1}^p \beta_j X_i)}^{d_i}}{\sum_{i_i} (e_j) e^{(\sum_{j=1}^p \beta_j X_i)}^{d_i}} \tag{5}$$

dengan S_k adalah jumlah kovarian pada *ties* dan d_i banyaknya kasus *ties* pada waktu t .

Penyusunan artikel ilmiah ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu literatur bagi data analis, khususnya data *time to event* dalam mengolah data tersensor yang mengandung *ties*. Sebagai perbandingan, pembaca juga dapat mengkaji beberapa metode estimasi yang lainnya, misalnya metode *efron* dan metode *exact*.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka dan *case study*. pada penelitian ini, studi pustaka digunakan untuk mengumpulkan literatur mengenai data tersensor kanan, *cox proportional hazards model*, dan metode menentukan estimator terbaik. Materi-materi ini selanjutnya digunakan untuk menyelesaikan studi kasus yang dilakukan.

Studi kasus yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari aplikasi R. Data tersebut merupakan hasil penelitian terhadap 154 orang yang melakukan perawatan luka bakar dengan metode pengobatan *routine bathing* dan *body cleansing*. Pengamatan dilakukan sejak pengobatan dilakukan, hingga pasien mengalami pemotongan organ yang terbakar. Variabel penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Variabel Penelitian

| Variabel | Deskripsi |
|----------------------------|--|
| Waktu (t) | Dihitung sejak sampel penelitian memperoleh pengobatan hingga terjadi pemotongan |
| Status | 0 : jika terjadi penyensoran 1 : jika mengalami pemotongan |
| Jenis Pengobatan (z_1) | 0 : <i>routine bathing</i> 1 : <i>body cleansing</i> |

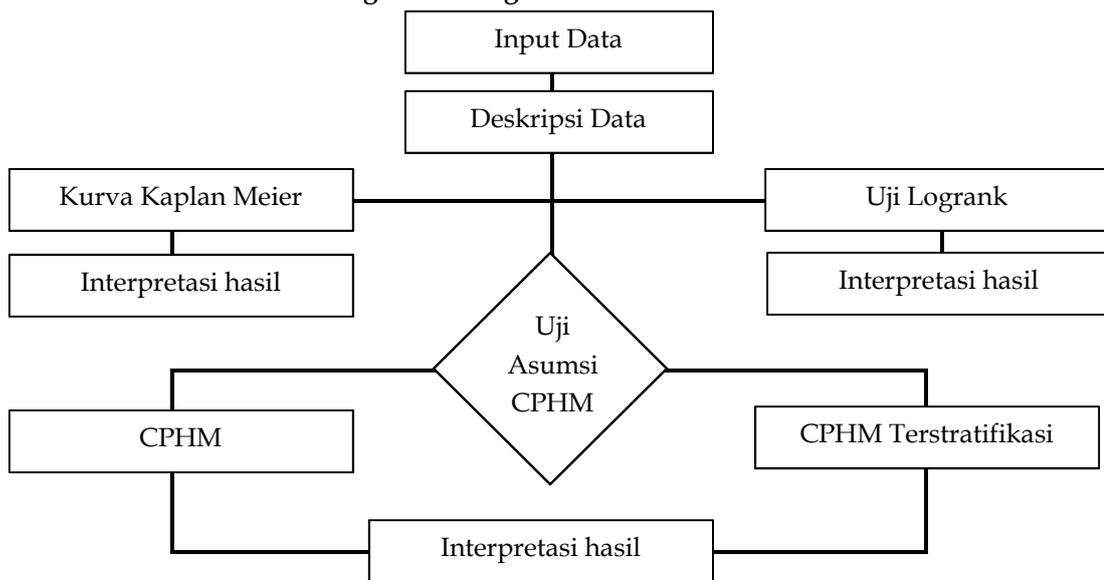
| | |
|----------------------------|--|
| Jenis Kelamin (z_2) | 0 : Laki-laki 1 : Perempuan |
| Ras (z_3) | 0 : Bukan kulit putih 1 : kulit putih |
| Jenis luka bakar (z_4) | 1 : luka bahan kimia 2 : melepuh 3 : tersengat listrik 4 : terbakar api |

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mendeskripsikan data
2. Melakukan uji logrank dan mendeskripsikan perbedaan pengaruh setiap kategori variabel melalui kurva kaplan-meier
3. Melakukan uji asumsi *cox hazard proportional model*
4. Jika ada variabel yang tidak memenuhi asumsi *proportional hazard*, maka dilakukan stratifikasi
5. Mendeskripsikan model yang dibentuk

Tahapan-tahapana analisis data dapat dilihat pada diagram berikut :

Diagram 1. Diagram Alir Proses Analisis Data



HASIL DAN PEMBAHASAN

Regresi *Cox Proportional Hazard Model* dengan Metode *Breslow*

Proses estimasi parameter dengan menggunakan metode *breslow* menggunakan persamaan (5). Namun untuk memudahkan proses estimasi parameter β dapat digunakan persamaan *log likelihood*. Sehingga dapat diperoleh :

$$l(\beta) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^p \beta_j S_{R_i} - \ln \left(\sum_{i_i} e^{(\sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij})^{t_i}} \right) \right) \quad (6)$$

Selanjutnya estimator parameter terbaik dapat ditentukan dengan mensubstitusi $\frac{\partial l(\beta)}{\partial \beta} = 0$ sehingga diperoleh :

$$\frac{\partial (\beta)}{\partial} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^p S_k - \left(\sum_{i_i} (\mathbf{x}_j) \frac{d_i \beta_j(n) (\sum_{j=1}^p \beta_j X_t) e. (\sum_{j=1}^p \beta_j X_t)^{d_i}}{e. (\sum_{j=1}^p \beta_j X_t)^{d_i}} \right) \right) = 0 \quad (7)$$

Selanjutnya, estimator parameter terbaik dapat diperoleh dengan melakukan iterasi Newton-Rhaphson dengan tingkat kesalahan yang dapat ditentukan sesuai ketelitian pendekatan yang digunakan peneliti. Pada penelitian ini, proses iterasi dilakukan dengan menggunakan *software R*.

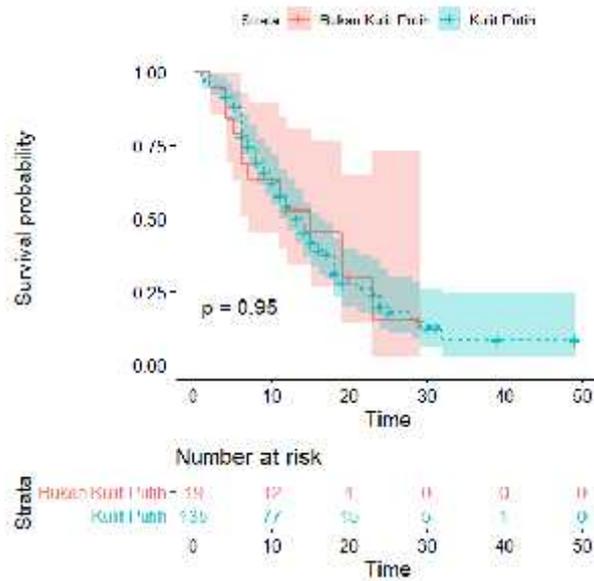
Studi Kasus

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang terlampir pada buku *Statistics for Biology and Health*, pada halaman 468-472 oleh John P. Klein dan Melvin L. Moeschberg. Data yang tersedia terdiri dari 154 sampel penelitian dengan 55 data tersensor dan 99 data mengalami kejadian. Data tersebut merupakan hasil percobaan terhadap 154 korban kebakaran dengan berbagai tipe luka bakar. Penanganan pasien dilakukan kepada 70 pasien dengan metode *routine bathing* dan 84 pasien dengan metode *body cleansing*. Pengamatan terhadap pasien dihentikan ketika pasien mengalami pemotongan organ tubuh yang terbakar atau penelitian tidak dapat dilanjutkan lagi karena keterbatasan waktu, anggaran atau pasien mengalami kesembuhan. Status pasien dikatakan mengalami kejadian jika terjadi pemotongan atau tersensor jika penelitian dihentikan.

Pada artikel ini, data tersebut dianalisis dengan menggunakan metode *cox proportional hazard* guna mengetahui besarnya risiko terjadinya pemotongan organ tubuh pada penderita luka bakar jika ditangani dengan menggunakan dua metode tersebut. Penentuan perbandingan besaran risiko terjadinya pemotongan dilakukan dengan menggunakan *hazard ratio* yang parameter-parameternya diestimasi dengan menggunakan metode *breslow*. Metode ini digunakan karena pada data yang dianalisis terdapat data dengan waktu kejadian bersamaan.

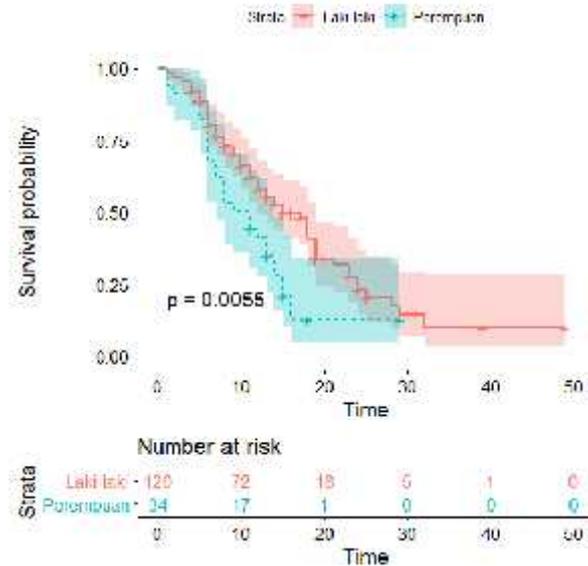
Kurva Kaplan-Meier

Hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan *software R* menunjukkan bahwa dari empat variabel yang diduga mempengaruhi terjadinya pemotongan organ pada pasien dengan luka bakar, ada satu variabel yang tidak memiliki perbedaan peluang survive pada tindak pemotongan. Hasil uji *log-rank* yang dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa peluang *survive* pasien berkulit putih tidak berbeda secara signifikan dengan pasien yang tidak berkulit putih. Artinya perbedaan warna kulit tidak berpengaruh signifikan terhadap perlakuan pemotongan organ tubuh pasien yang mengalami luka bakar. Hasil uji yang dilakukan terhadap variabel ras dapat dilihat pada kurva *kaplan-meier* berikut ini.



Gambar 1. Kurva Kaplan-Meier Variabel Ras

Namun jika ditinjau dari tiga variabel lainnya, terdapat perbedaan signifikan peluang terjadinya *event* terhadap setiap kelompok pasien dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil analisis yang dilakukan diperoleh bahwa jika ditinjau dari perbedaan jenis kelamin terdapat perbedaan signifikan pada tingkat kesalahan 5%. Perbedaan keduanya dapat dilihat pada kurva berikut :

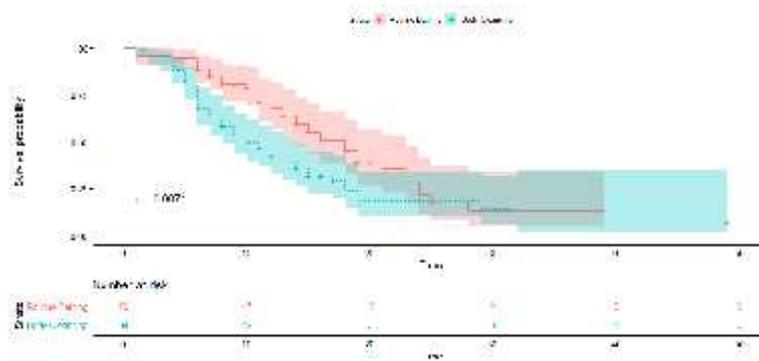


Gambar 2. Perbandingan Peluang Survive Pasien Berdasarkan Jenis Kelamin

Pada kurva tersebut dapat dilihat bahwa perempuan yang mengalami luka bakar lebih rentan untuk dilakukan pemotongan organ tubuh yang terbakar dibandingkan laki-laki. Pernyataan ini dapat diterima pada tingkat kesalahan 5%. Pada kurva tersebut dapat dilihat bahwa pada hari ke 10 pasien perempuan yang mengalami pemotongan organ terbakar sebanyak 50% dari jumlah keseluruhannya. Sedangkan pada pasien laki-laki banyak data tersensor dan masih tersisa 60% pasien yang belum mengalami kejadian. Adanya data tersensor pada pasien laki-laki

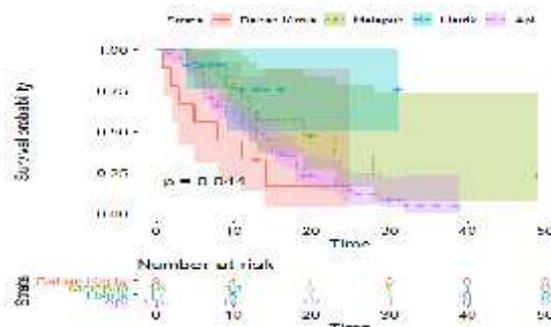
menunjukkan bahwa adanya pasien yang dikeluarkan dari rumah sakit sebelum mengalami pemotongan organ tubuh yang terbakar.

Perbedaan peluang survive pada pasien dengan luka bakar juga signifikan jika ditinjau dari segi metode pengobatan. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pasien yang ditangani dengan metode *routine bathing* memiliki peluang mengalami *event* lebih kecil jika dibandingkan dengan metode *body cleansing*. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pada hari ke 10 sebanyak 50% pasien yang ditangani metode *body cleansing* telah mengalami *event*. Artinya setengah dari jumlah pasien yang ditangani dengan metode *body cleansing* telah mengalami pemotongan organ tubuh. Sedangkan pada pasien yang ditangani dengan metode *routine bathing* yang mengalami *event* pada hari ke 10 sebanyak 33%. Perbedaan ini signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil analisis yang dilakukan pada kedua perlakuan ini dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 3. Perbandingan Peluang Survive Pasien Berdasarkan Metode Pengobatan

Hasil analisis terhadap tipe luka bakar juga menunjukkan perbedaan peluang survive bagi penderitanya. Hasil analisis yang dilakukan terhadap empat tipe luka bakar menunjukkan bahwa pasien dengan luka bakar tipe melepuh lebih tahan terhadap tindakan pemotongan dibanding tiga tipe luka bakar yang lainnya. Sedangkan pasien dengan luka bakar dari bahan kimia lebih rentan untuk mengalami pemotongan organ yang terbakar. Analisis ini dilakukan dengan tingkat kesalahan 5%. Artinya, dari 100 pasien yang dianalisis kemungkinan terjadinya kesalahan hanya pada 5 orang pasien. Hasil analisis yang dilakukan terhadap variabel tipe luka bakar dapat dilihat pada kurva kaplan-meier berikut :



Gambar 4. Perbandingan Peluang Survive Pasien Berdasarkan Tipe Luka Bakar

Pada kurva diatas dapat dilihat bahwa pada hari ke 10 pasien yang mengalami luka bakar melepuh tersisa 78% yang belum mengalami pemotongan organ terbakar. Sedangkan pasien dengan tipe luka bakar dari bahan kimia tersisa 44%. Perbandingan pada kurva tersebut menunjukkan bahwa pasien dengan tipe luka bakar melepuh lebih survive terhadap tindakan pemotongan dibanding tipe luka bakar yang lainnya.

Cox Proportional Hazard Model

Hasil analisis yang dilakukan diperoleh fungsi hazard sebagai berikut :
 $h(t|Z(t)) = h_0(t)e^{(0.54x_1 + 0.65x_2 - 0.12x_3 - 0.77x_4(2) - 1.33x_4(3) - 0.22x_4(4))}$.
 Dari persamaan regresi tersebut, jika dua pasien atau lebih memiliki karakteristik yang sama tetapi berbeda perlakuan metode pengobatannya maka akan diperoleh hazard rasionya sebagai berikut.

$$H = \frac{\exp(0,54(0))}{\exp(0,54(1))} = 0,36.$$

Hazard rasio tersebut menunjukkan bahwa pasien yang ditangani dengan pengobatan metode *routine bathing* memiliki risiko mengalami pemotongan organ sebesar 0,36 kali risiko kejadian pada pasien yang ditangani dengan metode *body cleansing*. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa secara statistik pasien yang ditangani dengan pengobatan metode *body cleansing* memiliki risiko mengalami pemotongan organ tubuh yang terbakar 17% lebih besar dibanding pasien yang ditangani dengan metode *routine bathing*.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Estimator parameter terbaik regresi *cox proportional model* dengan metode *breslow* dapat diperoleh dengan melakukan iterasi pada persamaan berikut :

$$\frac{\partial (\beta)}{\partial} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^p S_k - \left(\sum_{i, (t_j)} \frac{d_i \beta_j(n) (\sum_{j=1}^p \beta_j X_i) e^{(\sum_{j=1}^p \beta_j X_i)^{d_i}}}{e^{(\sum_{j=1}^p \beta_j X_i)^{d_i}}} \right) \right) = 0$$

2. Korban luka bakar yang ditangani dengan pengobatan metode *body cleansing* memiliki risiko mengalami pemotongan organ 17% lebih besar dibanding pasien yang ditangani dengan metode *routine bathing*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Schober and T. R. Vetter, "Survival analysis and interpretation of time-to-event data: The tortoise and the hare," *Anesth. Analg.*, vol. 127, no. 3, pp. 792–798, 2018, doi: 10.1213/ANE.0000000000003653.
- [2] M. L. Klein, John P and Moeschberger, *Survival Analysis Techniques for Censored and Truncated Data*. New York: Springer, 2019.
- [3] L. Myers, "Encryption 101: What is it? When should I use it?," *We Live Secur.*, vol. 42, no. 1, p. 3713, 2016, [Online]. Available: <http://www.welivesecurity.com/2016/02/04/encryption-101-useful/>
- [4] S. Rai, P. Mishra, and U. C. Ghoshal, "Survival analysis: A primer for the clinician scientists," *Indian J. Gastroenterol.*, vol. 40, no. 5, pp. 541–549, 2021, doi: 10.1007/s12664-021-01232-1.
- [5] A. R. Faisal, M. N. Bustan, and S. Annas, "ANALISIS SURVIVAL DENGAN PEMODELAN REGRESI COX PROPORTIONAL HAZARD MENGGUNAKAN PENDEKATAN BAYESIAN (Studi Kasus: Pasien Rawat Inap Penderita Demam Tifoid di RSUD Haji Makassar)," *VARIANSI J. Stat. Its Appl. Teach. Res.*, vol. 2, no. 2, p. 62, 2020, doi: 10.35580/variasiunm14629.
- [6] T. Wuryandari, "Model regresi cox proporsional hazard pada data durasi proses kelahiran dengan ties," vol. 9, no. 1, 2021.
- [7] I. Kuitunen, V. T. Ponkilainen, M. M. Uimonen, A. Eskelinen, and A. Reito, "Testing the proportional hazards assumption in cox regression and dealing with possible non-proportionality in total joint arthroplasty research: methodological perspectives and review," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1186/s12891-021-04379-2.
- [8] S. W. Purnami and I. N. Pertiwi, "Regresi Cox Proportional Hazard Untuk Analisis Survival Pasien Kanker Otak di C-Tech Labs Edwar Technology Tangerang," *Inferensi*, vol. 3, no. 2, p. 65, 2020, doi: 10.12962/j27213862.v3i2.7727.
- [9] S. A. Purba, "Estimasi Parameter Data Berdistribusi Normal Menggunakan Maksimum Likelihood Berdasarkan Estimation of Normal Distributed Data Parameters Using the Maximum Likelihood Based on Newton Raphson," vol. 9, no. 1, pp. 16–18, 2020.
- [10] L. O. S. Tedy Machmud, La Ode Nashar, Dina Fakhriyana, "ESTIMASI PARAMETER COX SEMIPARAMETRIC HAZARDS MODEL DENGAN METODE EFRON PADA," *J. Mat. UNAND*, vol. 10, no. 3, pp. 394–405, 2021.
- [11] G. E. Kusumawardhani, V. M. Santi, and S. Suyono, "Analisis Survival dengan Model Regresi pada Data Tersensor Berdistribusi Log-Logistik," *J. Stat. dan Apl.*, vol. 2, no. 2, pp. 28–35, 2018, doi: 10.21009/jsa.02204.
- [12] D. Tresnawanti *et al.*, "Fungsi Likehood Pada Data Tersensor Interval Univariat (Likelihood Function For Univariat Interval Censored Data)," pp. 0–3.
- [13] H. Hafid, M. N. Bustan, and M. K. Aidid, "Penanganan Ties Event dalam Regresi Cox Proportional Hazard Menggunakan Metode Breslow (Kasus: Pasien Rawat Inap DBD di RSAL Jala Ammari Makassar)," *VARIANSI J. Stat. Its Appl. Teach. Res.*, vol. 2, no. 1, p. 13, 2020, doi: 10.35580/variasiunm12897.
- [14] A. N. Vitriana and R. Kusumawati, "MODEL COX EXTENDED UNTUK MENGATASI NONPROPORTIONAL HAZARD PADA KEJADIAN BERSAMA," vol. 7, no. 1.
- [15] E. Setiani, S. Sudarno, and R. Santoso, "PERBANDINGAN MODEL REGRESI COX PROPORTIONAL HAZARD MENGGUNAKAN METODE BRESLOW DAN EFRON (Studi Kasus: Penderita Stroke di RSUD Tugurejo Kota Semarang)," *J. Gaussian*, vol. 8, no. 1, pp. 93–105, 2019, doi: 10.14710/j.gauss.v8i1.26624.