

Penerapan Prosedur Firth untuk Mengatasi Pemisahan (*Separation*) pada Model Regresi Probit Biner

Evellin Dewi Lusiana¹, Luthfatul Amaliana²

¹Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Brawijaya Malang

²Jurusan Matematika, Universitas Brawijaya Malang

email: evellinlusiana@ub.ac.id, luthfatul@ub.ac.id

Info Artikel	ABSTRAK
Riwayat Artikel: Diterima: 15 Mei 2017 Direvisi: 1 Juni 2017 Diterbitkan: 31 Juli 2017	Estimasi parameter model regresi probit dapat dilakukan dengan menggunakan metode Maximum Likelihood Estimation (MLE). Namun, metode MLE tidak dapat dipakai apabila dalam data mengandung pemisahan (<i>separation</i>) baik pemisahan sempurna (<i>complete separation</i>) maupun pemisahan tidak sempurna (<i>quasi-complete separation</i>) karena mengakibatkan hasil estimasi dengan metode MLE tidak konvergen. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan pendekatan prosedur Firth yang pertama kali diusulkan oleh Firth (1993). Penelitian ini menggunakan data sekunder pemberian kredit oleh pemerintah terhadap petani rumput laut di Kabupaten Kupang dengan tujuh variabel independen. Pada pemeriksaan awal ditemukan bahwa data tersebut mengandung pemisahan kurang sempurna yang mengakibatkan estimasi parameter bersifat divergen. Setelah ditangani dengan pendekatan prosedur Firth, diperoleh estimasi parameter yang bersifat konvergen
Kata Kunci: <i>Maximum Likelihood Estimation</i> <i>Prosedur Firth</i> <i>Pemisahan sempurna</i> <i>Pemisahan kurang sempurna</i> <i>Regresi probit biner</i>	
Korespondensi: Evellin Dewi Lusiana, Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Brawijaya Malang, Jl. Veteran Malang, Jawa Timur, Indonesia 65144 Email: evellinlusiana@ub.ac.id	Copyright © 2017 SIMANIS. All rights reserved.

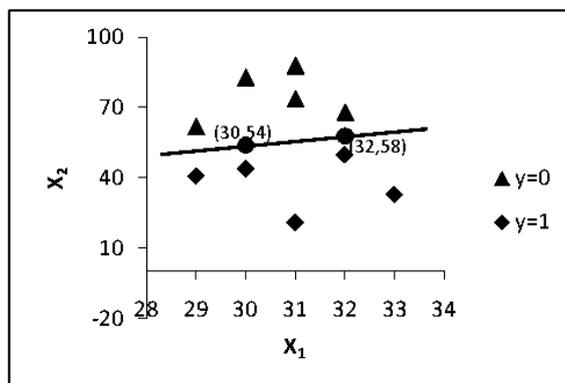
1. PENDAHULUAN

Analisis regresi probit biner adalah jenis analisis statistika yang digunakan untuk mengetahui pengaruh satu/atau beberapa variabel dependen terhadap satu variabel dependen yang bersifat kualitatif biner. Umumnya parameter model ini diestimasi dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan bantuan metode iteratif Newton Raphson. Namun, penggunaan metode MLE memiliki kelemahan yakni jika dalam data mengandung pemisahan (*separation*) maka akan mengakibatkan hasil estimasi parameter dan standar error menjadi tidak konvergen, sehingga hasil pengujian hipotesis cenderung akan menerima H_0 . Pada kondisi seperti ini, maka hasil estimasi parameter dengan metode MLE tidak dapat digunakan.

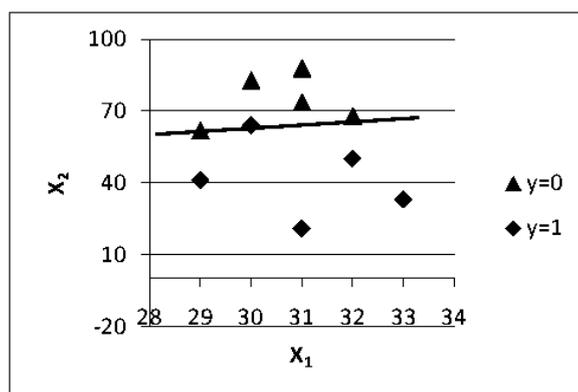
Pemisahan disebabkan oleh adanya satu atau kombinasi linier beberapa variabel independen yang mengakibatkan nilai-nilai variabel independen dan dependen terpisah secara sempurna. Kondisi ini sering terjadi pada kasus yang melibatkan ukuran sampel kecil (*small/sparse dataset*). Istilah pemisahan atau *separation* pertama kali dicetuskan oleh Albert and Anderson (1). Contoh sederhana pemisahan adalah tabel kontingensi 2x2 yang memiliki minimal satu sel bernilai nol.

Pemisahan dapat dibedakan menjadi pemisahan sempurna (*complete separation*) dan pemisahan kurang sempurna (*quasi-complete separation*). Pemisahan sempurna terjadi jika vektor koefisien dari fungsi linier variabel independen sama dengan nol yang mengakibatkan pengamatan terbagi ke dalam setiap variabel dependen secara sempurna. Adapun pemisahan kurang sempurna terjadi jika vektor koefisien dari fungsi linier

variabel independen melewati paling sedikit satu pengamatan pada setiap kategori dependen (2). Secara ilustratif, keadaan pemisahan sempurna dan kurang sempurna dalam data dengan respon biner ditampilkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Pemisahan Sempurna (*Complete Separation*)



Gambar 2. Pemisahan Kurang Sempurna (*Quasi-Complete Separation*)

Pada penerapan praktis, pemisahan merupakan suatu kondisi di mana terdapat salah satu kategori dari suatu variabel independen yang tidak terwakili oleh semua kategori variabel dependen, atau jika variabel independen bersifat kontinu, maka terdapat suatu nilai misal x , di mana untuk $X \leq x$ dan/atau $X \geq x$ yang hanya berpasangan dengan salah satu kategori variabel dependen.

Keberadaan pemisahan dalam data dengan respon biner perlu mendapatkan perhatian serius karena menghambat proses analisis data. Cara konvensional untuk mengatasi hal ini bisa dengan mengeluarkan variabel yang menjadi penyebab pemisahan atau menambah ukuran sampel. Namun menurut Zorn (3), mengeluarkan variabel independen yang menjadi penyebab pemisahan bisa menjadi kerugian karena ada kemungkinan justru variabel tersebut yang memiliki pengaruh terbesar terhadap variabel dependen. Di sisi lain, menambah ukuran sampel juga bukan pilihan yang tepat karena akan menghabiskan sumberdaya baik biaya, tenaga maupun waktu.

Salah satu metode alternatif yang ditawarkan Firth (4) untuk mengatasi pemisahan adalah dengan melakukan modifikasi terhadap fungsi likelihood model regresi respon biner. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menambah penalty pada fungsi skor likelihood, sehingga metode ini dikenal sebagai metode Penalized Maximum Likelihood Estimation (PMLE) atau disebut juga dengan Pendekatan Firth. Metode ini sudah pernah digunakan oleh Heinze and Schemper (5) untuk mengatasi pemisahan pada model regresi logistik biner. Dengan demikian, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana cara mengatasi pemisahan pada model regresi probit biner dengan pendekatan Firth. Sejalan dengan permasalahan tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan penerapan pendekatan Firth dalam mengatasi pemisahan yang diaplikasikan pada data pemberian bantuan kredit petani rumput laut di Kab. Kupang.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder pemberian kredit oleh pemerintah kepada petani rumput laut di Kabupaten Kupang bersumber pada hasil penelitian Sunadji (6) tentang model pengembangan budidaya rumput laut di Kabupaten Kupang di mana salah satu respon (variabel dependen) yang diamati adalah penerimaan kredit (Y), sedangkan variabel independen yang digunakan adalah

- X1 : Pengalaman (tahun)
- X2 : Lama pendidikan formal (tahun)
- X3 : Curahan tenaga kerja (setara HOK=7 jam kerja)
- X4 : Usia (tahun)
- X5 :Tingkat kebersihan rumput laut (%)
- X6 : Kadar air rumput laut (%)
- X7 : Produktivitas (kg/m²)

Prosedur analisis yang diterapkan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut

- (1) Estimasi parameter model regresi probit biner dengan metode MLE

Menurut Wooldridge (7), model umum regresi probit biner dibentuk dari proses berikut:

misal terdapat variabel laten y_i^* di mana

$$y_i^* = \mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta} + e_i \tag{1}$$

Dalam hal ini, variabel yang terobservasi bukan y_i^* melainkan variabel biner yang menunjukkan arah/tanda bagi y_i^* yaitu

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{jika } y_i^* > 0 \\ 0 & \text{jika } y_i^* \leq 0 \end{cases} \tag{2}$$

sehingga nilai peluang setiap kemungkinan y_i dinyatakan dengan

$$\begin{aligned} P(y_i = 1 | \mathbf{x}_i) &= P(y_i^* > 0 | \mathbf{x}_i) = P(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta} + e_i > 0 | \mathbf{x}_i) \\ &= P(e_i > -\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta} | \mathbf{x}_i) = 1 - \Phi(-\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}) = \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}) \end{aligned} \tag{3}$$

$$P(y_i = 0 | \mathbf{x}_i) = 1 - \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}) \tag{4}$$

Dengan demikian, fungsi regresi probit biner menjadi

$$f(y_i | \mathbf{x}_i) = [\Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})]^{y_i} [1 - \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})]^{1-y_i} \tag{5}$$

Berdasarkan fungsi tersebut, maka fungsi log-likelihood dari regresi probit biner adalah

$$l(\boldsymbol{\beta}) = \sum_i y_i \ln[\Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})] + \sum_i (1 - y_i) \ln[1 - \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})] \tag{6}$$

Fungsi ini yang dimaksimumkan menggunakan metode MLE dan bantuan metode numerik Newton-Raphson, di mana setiap iterasi Newton-Raphson berlaku ketentuan

$$\boldsymbol{\beta}_{(t+1)} = \boldsymbol{\beta}_{(t)} + \mathbf{H}_{(t)}^{-1} \mathbf{g}_{(t)} \tag{7}$$

Di mana:

t = 1, 2, ..., T

T = banyaknya iterasi yang dibutuhkan mencapai kriteria konvergen

$\boldsymbol{\beta}_{(t)}$ = estimasi parameter pada iterasi ke-t

$$\mathbf{H} = - \frac{\partial^2 l(\hat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \hat{\beta}_a \partial \hat{\beta}_b}$$

$$= \left\{ \sum_i y_i [\phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})\Phi^{-1}(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}) + \phi^2(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})\Phi^{-2}(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})] \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^t + \sum_i (1 - y_i) [\phi^2(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})(1 - \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})^{-2}) - \mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta} \phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})(1 - \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}))^{-1}] \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^t \right\} \tag{8}$$

$$\mathbf{g} = \frac{\partial l(\hat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \hat{\boldsymbol{\beta}}_j} = \sum_i y_i \phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}) \Phi^{-1}(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}) - \sum_i (1 - y_i) \phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}) [1 - \Phi^{-1}(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})] \mathbf{x}_i \tag{9}$$

Kriteria kekonvergenan tercapai jika memenuhi syarat

$$\left| \boldsymbol{\beta}_j^{(t+1)} - \hat{\boldsymbol{\beta}}_j \right| \leq c \left| \boldsymbol{\beta}_j^{(t)} - \hat{\boldsymbol{\beta}}_j \right|^2 \tag{10}$$

- (2) Pemeriksaan keberadaan pemisahan berdasarkan hasil (1)

Berdasarkan hasil estimasi parameter yang dihasilkan pada langkah pertama, kemudian dilakukan pemeriksaan pemisahan dalam model. Teknik yang digunakan mengadopsi Lessafre and Albert (8), di mana pemisahan terjadi jika perbandingan antara standar error estimator di setiap estimator dengan nilai standar error pada iterasi pertama. Apabila rasio yang diperoleh bersifat divergen, maka menunjukkan terjadi pemisahan. Standar error estimator dihitung menggunakan rumus

$$SE(\boldsymbol{\beta}^{(t)}) = \sqrt{[\mathbf{H}(\boldsymbol{\beta}^{(t)})]^{-1}} \tag{11}$$

- (3) Estimasi parameter model regresi probit biner dengan Pendekatan Firth

Selanjutnya, bila dalam data terjadi pemeriksaan, maka hasil estimasi parameter tidak dapat digunakan. Dengan demikian, metode lain yang digunakan adalah modifikasi metode MLE dengan pendekatan Firth, atau disebut juga metode PMLE. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan unsur *penalty/penalized* dalam fungsi log-likelihood

$$l^*(\boldsymbol{\beta}) = l(\boldsymbol{\beta}) + \frac{1}{2} \ln |I(\boldsymbol{\beta})| \tag{12}$$

Di mana:

$l^*(\boldsymbol{\beta})$ = fungsi log-likelihood modifikasi dengan Pendekatan Firth

$l(\boldsymbol{\beta})$ = fungsi log-likelihood regresi probit biner

$I(\boldsymbol{\beta})$ = matriks informasi Fisher

$$= -E \left(\frac{\partial^2 l(\hat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \hat{\boldsymbol{\beta}}_a \partial \hat{\boldsymbol{\beta}}_b} \right) = \sum_i \frac{\phi^2(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})}{\Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta})(1 - \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta}))} \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^t \tag{13}$$

- (4) Pemeriksaan keberadaan pemisahan berdasarkan hasil (3)

Pemeriksaan pemisahan yang dilakukan sama seperti pada langkah (2).

Prosedur-prosedur analisis tersebut dijalankan dengan bantuan software R versi 3.1.0 yang dijalankan pada sistem operasi Windows 10 64-bit.

3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil analisis terhadap data sekunder yang digunakan dijabarkan dalam sub-sub bab sebagai berikut.

3.1. Hasil Estimasi Parameter Model Probit Biner dengan Metode MLE

Estimasi parameter model probit biner menggunakan metode MLE untuk data pemberian kredit kepada petani rumput laut di Kabupaten Kupang dengan 7 variabel independen ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Estimasi Parameter Model Probit Biner dengan Metode MLE

Parameter	Estimate	Standar Error	Z-value	Pr(> z)
β_0	41.870	3701	0.011	0.991
β_1	0.212	0.279	0.759	0.448
β_2	-0.006	0.198	-0.033	0.974
β_3	0.015	0.018	0.808	0.419
β_4	-0.033	0.032	-1.031	0.303
β_5	0.198	0.142	1.394	0.163
β_6	-2.490	148	-0.017	0.987
β_7	0.782	0.887	0.882	0.378

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa dari 7 parameter yang menunjukkan koefisien regresi dari variabel independen yang digunakan, tidak ada satu pun variabel yang berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen (pemberian kredit). Hal ini dikarenakan ketujuh parameter tersebut memiliki $\text{Pr}(>|z|) > \alpha=0.05$. Suatu variabel independen dikatakan berpengaruh signifikan jika memiliki $\text{Pr}(>|z|) < \alpha$. Selain itu, dilihat berdasarkan nilai standar error yang dihasilkan, tampak bahwa standar error bagi β_0 dan β_6 tergolong cukup besar bila dibandingkan secara relatif terhadap nilai estimasi parameternya. Dua keadaan ini, merupakan sinyal awal adanya pemisahan dalam data atau model yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap keberadaan pemisahan dalam model.

3.2. Pemeriksaan Pemisahan Dalam Model Probit Biner MLE

Pemeriksaan keberadaan pemisahan dalam model regresi probit biner MLE menerapkan teknik Lessafre and Albert (8), yakni dengan membandingkan standar error estimasi parameter setiap iterasi terhadap nilai standar error di iterasi pertama. Hasil perbandingan standar error tersebut disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Standar Error Estimasi Parameter Probit Biner MLE Setiap Iterasi

Iterasi	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.213	1.205	1.155	1.228	1.137	1.178	1.436	1.182
3	1.539	1.602	1.490	1.624	1.473	1.530	1.932	1.544
4	1.941	2.164	1.913	2.135	1.905	2.044	2.626	2.046
5	2.385	2.803	2.311	2.708	2.332	2.726	3.853	2.676
6	2.834	3.357	2.682	3.398	2.740	3.473	5.887	3.518
7	3.396	3.749	3.044	4.151	3.116	4.099	8.759	4.710
8	4.392	4.007	3.312	4.666	3.368	4.506	13.424	6.417
9	6.460	4.126	3.453	4.812	3.474	4.695	21.390	8.645
10	9.406	4.194	3.528	4.825	3.511	4.821	31.395	10.782
11	12.223	4.241	3.566	4.843	3.520	4.873	41.035	12.239
12	15.261	4.264	3.580	4.856	3.526	4.882	51.298	12.776
13	20.317	4.269	3.583	4.859	3.528	4.884	68.072	12.893
14	29.225	4.269	3.584	4.859	3.528	4.884	97.645	12.915
15	44.274	4.269	3.584	4.859	3.528	4.884	147.701	12.919

Dari Tabel 2 tampak bahwa nilai perbandingan standar error bagi β_0 dan β_6 sampai dengan iterasi ke 15 semakin lama semakin besar, atau dengan kata lain standar error yang dihasilkan bersifat divergen. Hal ini jelas menunjukkan adanya pemisahan dalam model regresi probit biner dengan Metode MLE. Dengan demikian, hasil estimasi parameter probit biner dengan metode MLE yang dihasilkan sebelumnya tidak dapat digunakan, sehingga dicoba alternatif metode MLE dengan Pendekatan Firth.

3.3 Hasil Estimasi Parameter Model Probit Biner dengan Pendekatan Firth

Karena pada pembahasan sebelumnya ditemukan bahwa terjadi pemisahan dalam data yang digunakan, maka hasil estimasi parameter dengan metode MLE menjadi tidak dapat digunakan. Oleh karena itu salah satu alternatif yang dapat dijadikan solusi adalah menggunakan metode MLE dengan pendekatan Firth. Hasil estimasi parameter model regresi probit biner dengan pendekatan Firth dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Estimasi Parameter Model Probit Biner dengan Metode MLE Pendekatan Firth

Parameter	Estimate	Standar Error	Z-value	Pr(> z)
β_0	10.470	6.436	1.627	0.104
β_1	0.035	0.148	0.238	0.812
β_2	0.009	0.106	0.087	0.930
β_3	0.010	0.008	1.294	0.196
β_4	-0.015	0.017	-0.849	0.396
β_5	0.089	0.063	1.426	0.154
β_6	-0.732	0.115	-6.388	0.000
β_7	0.185	0.143	1.298	0.194

Tabel 3 memperlihatkan bahwa dari tujuh variabel independen yang digunakan terdapat satu variabel yang berpengaruh signifikan terhadap pemberian kredit, yaitu variabel X6 atau kadar air rumput laut karena estimasi parameter bagi variabel tersebut memiliki $Pr(>|z|) < \alpha=0.05$. Di sisi lain, bila dilihat berdasarkan nilai standar error masing-masing estimasi parameter, maka tampak bahwa nilai standar error yang dihasilkan dengan pendekatan Firth ini cukup logis artinya bila dibandingkan relatif terhadap estimasi parameter yang diperoleh, nilai standar error tidak terlampaui besar. Kondisi ini berbeda dengan hasil estimasi parameter dengan metode MLE sebelumnya, di mana tidak ada variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen, dan terdapat nilai standar error yang sangat besar.

3.4. Pemeriksaan Pemisahan Dalam Model Probit Biner MLE dengan Pendekatan Firth

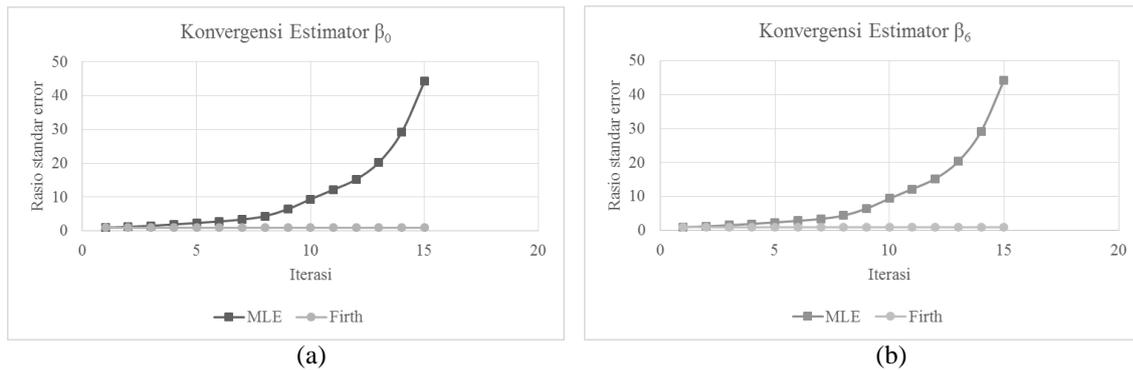
Pemeriksaan keberadaan pemisahan dalam model regresi probit biner MLE dengan pendekatan Firth dilakukan melalui perbandingan standar error estimasi parameter setiap iterasi terhadap nilai standar error di iterasi pertama. Hasil perbandingan standar error ini ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Standar Error Estimasi Parameter Probit Biner MLE dengan Pendekatan Firth Setiap Iterasi

Iterasi	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.967	0.972	0.971	0.970	0.967	0.966	0.962	0.963
3	0.954	0.961	0.960	0.959	0.955	0.954	0.948	0.949
4	0.948	0.956	0.956	0.954	0.949	0.948	0.942	0.942
5	0.945	0.953	0.953	0.951	0.946	0.945	0.939	0.939
6	0.944	0.952	0.952	0.950	0.945	0.943	0.937	0.937
7	0.943	0.951	0.951	0.949	0.944	0.942	0.936	0.936
8	0.942	0.951	0.951	0.948	0.944	0.942	0.936	0.935
9	0.942	0.951	0.951	0.948	0.943	0.941	0.935	0.935
10	0.942	0.951	0.950	0.948	0.943	0.941	0.935	0.935
11	0.942	0.950	0.950	0.948	0.943	0.941	0.935	0.935
12	0.942	0.950	0.950	0.948	0.943	0.941	0.935	0.935
13	0.942	0.950	0.950	0.948	0.943	0.941	0.935	0.935
14	0.942	0.950	0.950	0.948	0.943	0.941	0.935	0.935
15	0.942	0.950	0.950	0.948	0.943	0.941	0.935	0.935

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa perbandingan standar error estimasi parameter yang dihasilkan menggunakan metode MLE dengan pendekatan Firth sampai pada iterasi ke 15 mampu mencapai kekonvergenan. Hal ini bisa dilihat pada nilai-nilai perbandingan pada iterasi ke 8-15 yang bersifat konstan. Keadaan ini menunjukkan bahwa estimasi parameter dengan pendekatan Firth bersifat konvergen, atau dengan kata lain berhasil mengatasi pemisahan yang menjadi permasalahan dalam estimasi parameter dengan metode MLE.

Secara ringkas, perbandingan konvergensi estimasi parameter antara MLE dan pendekatan Firth yang ditandai oleh rasio standar error estimator β_0 dan β_6 setiap iterasi terhadap iterasi pertama ditampilkan dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Perbandingan Konvergensi Estimator MLE dan Firth
(a) Estimator β_0
(b) Estimator β_6

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa estimator β_0 dan β_6 pada MLE cenderung memiliki rasio standar error yang semakin bertambah iterasi bernilai semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kedua estimator tersebut tidak mampu mencapai konvergensi (divergen). Di sisi lain, rasio standar error bagi estimator yang sama dengan pendekatan Firth memiliki nilai yang konstan sepanjang iterasi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa estimator-estimator tersebut berhasil mencapai kekonvergenan. Dari hasil ini, maka dapat dikatakan bahwa estimator MLE tidak mencapai konvergensi, sedangkan estimator Firth berhasil mencapai konvergensi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah disampaikan, maka dapat disimpulkan bahwa data sekunder pemberian kredit terhadap petani rumput laut di Kabupaten Kupang mengandung pemisahan atau *separation*. Hal ini terlihat dari hasil pemeriksaan terhadap nilai perbandingan standar error estimasi parameter metode MLE setiap iterasi yang divergen, sehingga mengakibatkan hasil estimasi yang diperoleh tidak dapat digunakan. Oleh karena itu, digunakan metode MLE dengan pendekatan Firth yang menghasilkan estimasi parameter yang bersifat konvergen. Setelah dilakukan pemeriksaan pemisahan dalam hasil estimasi yang diperoleh juga tidak menunjukkan adanya pemisahan. Dengan demikian, penggunaan pendekatan Firth pada metode MLE mampu mengatasi masalah pemisahan dalam data.

REFERENSI

1. Albert A, Anderson JA. On the Existence of Maximum Likelihood Estimates in Logistic Regression Model. *Biometrika*. 1984;71:1-10.
2. So Y. A Tutorial on Logistic Regression. 1995. Available from: <http://support.sas.com/techsup/technote/ts450.pdf>
3. Zorn C. A Solution to Separation in Binary Response Models. *Political Analysis*. 2005;13:157-70.
4. Firth D. Bias Reduction of Maximum Likelihood Estimates. *Biometrika*. 1993;80:27-38.
5. Heinze G, Schemper M. A Solution to The Problem of Separation in Logistic Regression. *Statistics in Medicine* 2002;21:2409-19.
6. Sunadji. Model Pengembangan Budidaya Rumput Laut di Kabupaten Kupang Provinsi NTT (Simulasi Kebijakan dengan Pendekatan Ekonomi Rumah Tangga). . Malang: Universitas Brawijaya; 2013.
7. Wooldridge JM. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Massachusetts: MIT Press; 2002.
8. Lessafre E, Albert A. Partial Separation in Logistic Discrimination. *Journal of the Royal Statistical Society B* 1989;51(1):109-16.