

11-2-2010

## Development of Technology Parameter Towards Shipbuilding Productivity Predictor Using Cubic Spline Approach

Bagiyo Suwasono

*Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia, bagiyo@grad.its.ac.id*

Sjarief Widjaja

*Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia*

Achmad Zubaydi

*Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia*

Zaed Yuliadi

*PT. PAL Indonesia, Ujung Surabaya 60155, Indonesia*

I Nyoman Budiantara

*Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia*

Follow this and additional works at: <https://scholarhub.ui.ac.id/mjt>



Part of the [Chemical Engineering Commons](#), [Civil Engineering Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Electrical and Electronics Commons](#), [Metallurgy Commons](#), [Ocean Engineering Commons](#), and the [Structural Engineering Commons](#)

---

### Recommended Citation

Suwasono, Bagiyo; Widjaja, Sjarief; Zubaydi, Achmad; Yuliadi, Zaed; and Budiantara, I Nyoman (2010) "Development of Technology Parameter Towards Shipbuilding Productivity Predictor Using Cubic Spline Approach," *Makara Journal of Technology*. Vol. 14 : No. 2 , Article 12.

DOI: 10.7454/mst.v14i2.704

Available at: <https://scholarhub.ui.ac.id/mjt/vol14/iss2/12>

This Article is brought to you for free and open access by the Universitas Indonesia at UI Scholars Hub. It has been accepted for inclusion in Makara Journal of Technology by an authorized editor of UI Scholars Hub.

## PENGEMBANGAN PARAMETER TEKNOLOGI TERHADAP PREDIKSI PRODUKTIVITAS PEMBANGUNAN KAPAL DENGAN PENDEKATAN SPLIN KUBIK

Bagiyo Suwasono<sup>1\*)</sup>, Sjarief Widjaja<sup>1</sup>, Achmad Zubaydi<sup>1</sup>, Zaed Yuliadi<sup>2</sup>, dan I Nyoman Budiantara<sup>3</sup>

1. Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

2. PT. PAL Indonesia, Ujung Surabaya 60155, Indonesia

3. Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: bagiyo@grad.its.ac.id

---

### Abstrak

Kemampuan proses produksi yang dihubungkan dengan *state-of-the-art* teknologi memungkinkan pembangunan kapal yang disesuaikan dengan peralatan mutakhir akan berdampak pada tingkat produktivitas dan daya saing. Studi ini mengusulkan pendekatan regresi nonparametrik splin kubik dengan 1 knot, 2 knot, dan 3 knot. Aplikasi program Tibco Spotfire S+ menunjukkan bahwa splin kubik dengan 2 knot (4,25 dan 4,50) memberikan hasil terbaik dengan nilai *general cross validation* (GCV) = 56,21556 dan  $R^2 = 94,03\%$ . Hasil estimasi splin kubik dengan 2 knot untuk PT. Batamec Shipyard = 35,61 MH/CGT, PT. Dok & Perkapalan Surabaya = 27,49 MH/CGT, PT. Karimun Sembawang Shipyard = 27,49 MH/CGT, dan PT. PAL Indonesia = 19,89 MH/CGT.

### Abstract

**Development of Technology Parameter Towards Shipbuilding Productivity Predictor Using Cubic Spline Approach.** Ability of production processes associated with state-of-the-art technology, which allows the shipbuilding, is customized with modern equipment. It will give impact to level of productivity and competitiveness. This study proposes a nonparametric regression cubic spline approach with 1 knot, 2 knots, and 3 knots. The application programs Tibco Spotfire S+ showed that a cubic spline with 2 knots (4.25 and 4.50) gave the best result with the value of GCV = 56.21556, and  $R^2 = 94.03\%$ . Estimation result of cubic spline with 2 knots for the PT. Batamec shipyard = 35.61 MH/CGT, PT. Dok & Perkapalan Surabaya = 27.49 MH/CGT, PT. Karimun Sembawang Shipyard = 27.49 MH/CGT, and PT. PAL Indonesia = 19.89 MH/CGT.

*Keywords: technology parameter, shipbuilding productivity, cubic spline*

---

### 1. Pendahuluan

Globalisasi merupakan fenomena bagi sektor industri untuk memiliki kekuatan daya saing yang cukup tinggi, diantaranya struktur organisasi, nilai tambah produk, produktivitas dan berbagai sumberdaya produktif lainnya [1]. Secara tegas dinyatakan bahwa produktivitas merupakan akar penentu tingkat daya saing, baik pada level individu, perusahaan, industri maupun pada level negara. Produktivitas sendiri merupakan sumber dari standar hidup dan pendapatan individual maupun perkapita. Sedangkan daya saing adalah kemampuan menciptakan suatu tingkat kemakmuran. Jadi terdapat hubungan antara tingkat produktivitas dengan tingkat daya saing [2].

Perbandingan tingkat produktivitas tenaga kerja galangan kapal dalam *compensated gross tonnage/employee* (yang diwakili PT. PAL Indonesia dan PT. Jasa Mrina Indah Shipyard) menunjukkan hasil relatif baik untuk Indonesia apabila dibandingkan dengan negara berkembang lainnya, tetapi masih tetap di bawah negara-negara Eropa. Sedangkan daya saing dalam *Cost/CGT* untuk kedua galangan tersebut relatif lebih tinggi dibandingkan dengan negara berkembang lainnya, tetapi masih lebih rendah apabila dibandingkan dengan negara-negara Eropa [3].

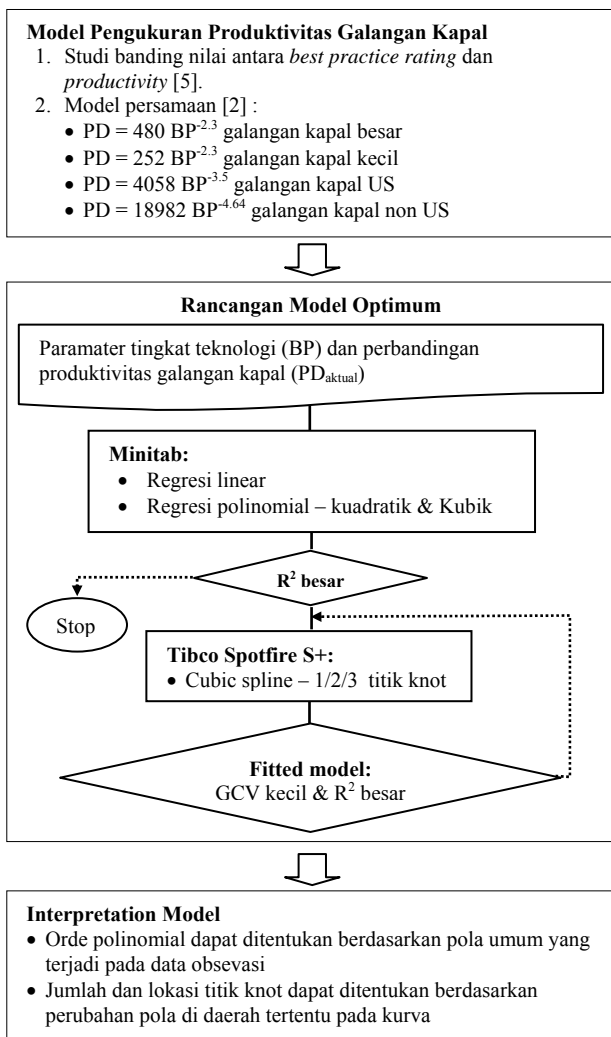
Sebagai kerangka kekuatan daya saing internasional, maka setiap galangan kapal akan mengurangi biaya-biaya yang berhubungan dengan pembangunan kapal.

Sejak saat itu, setiap galangan kapal secara akselerasi melakukan pengukuran untuk rasionalisasi ke arah peningkatan produktivitas, seperti otomatisasi dan komputerisasi [4].

Dengan memperhatikan akselerasi peningkatan produktivitas dan kerangka kekuatan daya saing galangan kapal, maka rumusan masalah yang diusulkan adalah signifikansi tingkat pengembangan teknologi perkapalan terhadap peningkatan produktivitas pembangunan kapal, khususnya produktivitas tenaga kerja. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan suatu model statistik regresi nonparametrik, yaitu splin kubik dengan tiga variasi lokasi titik knot.

## 2. Metode Penelitian

Langkah-langkah yang ditempuh dalam kegiatan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 dengan tiga tahapan dasar, yaitu: kajian model pengukuran, rancangan model optimum, dan interpretasi model.



Gambar 1. Kerangka Konseptual

*Best practice rating* (BP) merupakan tingkatan penilaian 1–5 dari seorang praktisi yang didasarkan pada pendekatan pengembangan teknologi yang digunakan sebagai daya saing galangan kapal secara global melalui peningkatan produktivitas (PD). Delapan elemen yang digunakan untuk penilaian [5], meliputi produksi kerja baja, produksi perlengkapan, aktivitas sebelum penyambungan blok, konstruksi kapal dan instalasi perlengkapan, tata letak dan lingkungan, fasilitas, desain, penyusunan, rekayasa produksi dan gambar lantai, organisasi dan sistem produksi.

Ada empat model statistik parametrik nonliniar dari galangan kapal yang dikembangkan dalam bentuk fungsi berpangkat dengan prediktor-BP dan respon-PD [6].

$$PD = 480 BP^{-2,3} \text{ galangan kapal besar} \quad (1)$$

$$PD = 252 BP^{-2,3} \text{ galangan kapal kecil} \quad (2)$$

$$PD = 4058 BP^{-3,5} \text{ termasuk galangan kapal US} \quad (3)$$

$$PD = 18982 BP^{-4,64} \text{ diluar galangan kapal US} \quad (4)$$

dengan

PD = produktivitas galangan kapal (MH/CGT)

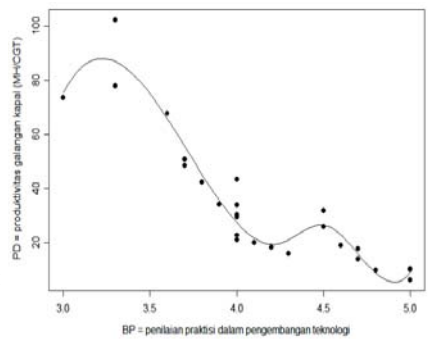
BP = penilaian dalam pengembangan teknologi

Data sekunder BP dan PD aktual, maupun nilai prediksi dari keempat fungsi tersebut ditampilkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 tersebut dilakukan plot pertama untuk data BP dan PD dengan dukungan aplikasi program Microsoft Excel.

Tabel 1. Parameter BP dan Produktivitas Galangan Kapal [6]

Negara	No	BP	PD <sub>aktual</sub>	PD <sub>Pers.(1)</sub>	PD <sub>Pers.(2)</sub>	PD <sub>Pers.(3)</sub>	PD <sub>Pers.(4)</sub>
Asia	1	5,00	6,29	11,85	6,22	14,52	10,84
Asia	2	4,10	20,00	18,70	9,82	29,08	27,23
Asia	3	5,00	10,11	11,85	6,22	14,52	10,84
Asia	4	5,00	10,40	11,85	6,22	14,52	10,84
Asia	5	4,70	13,88	13,66	7,17	18,03	14,45
Asia	6	4,50	26,04	15,10	7,93	20,99	17,68
Asia	7	4,50	31,92	15,10	7,93	20,99	17,68
Asia	8	4,60	19,03	14,35	7,53	19,44	15,96
Asia	9	4,80	9,83	13,01	6,83	16,75	13,10
Asia	10	4,70	17,67	13,66	7,17	18,03	14,45
Eropa	11	4,00	22,75	19,79	10,39	31,70	30,53
Eropa	12	3,90	34,17	20,98	11,01	34,64	34,34
Eropa	13	4,00	33,90	19,79	10,39	31,70	30,53
Eropa	14	3,70	48,61	23,68	12,43	41,65	43,84
Eropa	15	4,00	43,34	19,79	10,39	31,70	30,53
Eropa	16	4,00	30,33	19,79	10,39	31,70	30,53
Eropa	17	4,00	21,06	19,79	10,39	31,70	30,53
Eropa	18	4,30	16,07	16,76	8,80	24,61	21,83
Eropa	19	4,20	18,30	17,69	9,29	26,73	24,35
Eropa	20	4,00	29,60	19,79	10,39	31,70	30,53
US	21	3,30	77,95	30,81	16,17	62,16	74,55
US	22	3,60	67,68	25,22	13,24	45,84	49,78
US	23	3,70	50,93	23,68	12,43	41,65	43,84
US	24	3,80	42,47	22,27	11,69	37,94	38,74
US	25	3,00	73,55	38,36	20,14	86,77	116,01
US	26	3,30	102,27	30,81	16,17	62,16	74,55

<p><b>Listing Program S+ untuk Splin Kubik dengan 2 Knot:</b></p> <pre>splinekubik2&lt;-function(x,y,k1,k2) { n&lt;-length(y) trun&lt;-function(data,knots,power) {((data-knots)^power)*(data&gt;=knots)} m&lt;-matrix(0,ncol=6,nrow=n) m[,1]&lt;-1 m[,2]&lt;-x m[,3]&lt;-x^2 m[,4]&lt;-x^3 m[,5]&lt;-trun(x,k1,3) m[,6]&lt;-trun(x,k2,3) beta&lt;-solve(t(m)%*%m)%*%t(m)%*%y flamda&lt;-m%*%beta alamda&lt;- m%*% solve(t(m)%*%m)%*%t(m) ia&lt;-diag(n)-alamda bgcv&lt;-(sum(diag(ia))/n)^2 agcv&lt;-t(ia%*%y)%*%(ia%*%y)/n gcv&lt;-agcv/bgcv residual&lt;-y-flamda ybar&lt;-sum(y)/n sse&lt;-t(y-flamda)%*%( y-flamda) syy&lt;- t(y-ybar)%*%( y-ybar) ssr&lt;- t(flamda-ybar)%*%( flamda-ybar) koef.determinasi&lt;-ssr/syy mse&lt;-as.vector(sse)/(n-6) msr&lt;- as.vector(ssr)/5 fhitung&lt;-msr/mse covbeta&lt;-solve(t(m) %*%m)*mse seb1&lt;-sqrt(covbeta[1,1]) seb2&lt;-sqrt(covbeta[2,2]) seb3&lt;-sqrt(covbeta[3,3]) seb4&lt;-sqrt(covbeta[4,4])</pre>	<pre>tb1&lt;-beta[1]/seb1 tb2&lt;-beta[2]/seb2 tb3&lt;-beta[3]/seb3 tb4&lt;-beta[4]/seb4 i&lt;-seq(min(x),max(x),length=100) fest&lt;beta[1]+beta[2]*i+beta[3]*i^2+beta[4]*i^3+beta[5]*trun (i,k1,3)+beta[6]*trun(i,k2,3) win.graph() plot(x,y,xlim=c(min(x),max(x)),ylim=c(min(y),max(y)),xlab =" BP = penilaian praktisi dalam pengembangan teknologi",ylab=" PD = produktivitas galangan kapal (MH/CGT)") par(new=T) plot(i,fest,type="l",xlim=c(min(x),max(x)),ylim=c(min(y),ma x(y)),xlab=" BP = penilaian praktisi dalam pengembangan teknologi",ylab=" PD = produktivitas galangan kapal (MH/CGT)") return(beta,gcv,koef.determinasi) } &gt; splinekubik2(bp,pd,4.25,4.50) \$beta: [1,] [1,] -6958.6412 [2,] 5866.2519 [3,] -1605.5961 [4,] 143.9166 [5,] -897.5604 [6,] 1322.8633 \$gcv: [1,] [1,] 56.21556 koef.determinasi: [1,] [1,] 0.9402829</pre>
---	---



Gambar 2. Pengembangan Bahasa Pemrograman S+

Plot kedua dilakukan pada data sekunder BP dan PD aktual dengan dukungan aplikasi program Minitab. Hasil yang diperoleh adalah persamaan regresi parametrik berupa regresi linier, regresi kuadratik dan regresi kubik, dimana ketiga persamaan tersebut memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang berbeda-beda. Pemilihan model regresi parametrik yang optimal dengan memperhatikan nilai  $R^2$  paling besar.

Memperhatikan model regresi parametrik yang optimal dan hubungan antara variabel prediktor-BP dengan respon-PD yang menunjukkan data nonlinear, maka peneliti mengusulkan sebuah model regresi nonparametrik, yaitu: splin kubik dengan tiga variasi titik knot dan didukung oleh aplikasi program TIBCO Spotfire S+® 8.1 for Windows. Langkah selanjutnya adalah pengembangan bahasa pemrograman S+ (Gambar 2) untuk memperoleh fungsi splin dan lokasi titik knot optimal dengan nilai *general cross validation* (GCV) yang cukup kecil dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang cukup besar.

Di sisi yang lain, model aditif splin kuadrat terkecil parsial (ASKTP) dengan spesifikasi titik-titik simpul merupakan pendugaan menggunakan regresi berganda

biasa. Tetapi kesulitan yang muncul ketika ukuran sampel yang tidak cukup besar. Keuntungan dari model ini adalah dari model aditif yang cocok dengan data, maka dapat diplot koordinat fungsi-fungsi penggalan untuk menentukan peranan prediktor-prediktor dalam pemodelan peubah respon. Hal ini dapat dilakukan untuk masing-masing peubah respon disaat ukuran sampel tidak terlalu besar [7].

Secara umum regresi nonparametrik splin dapat disajikan dalam bentuk [8]:

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$f(x) = \sum_{r=0}^q \beta_r x^r + \sum_{k=1}^m \beta_k (x - K_k)_+^q \quad (6)$$

dengan  $f(x_i)$  merupakan fungsi regresi dan dihipotesiskan dengan menggunakan fungsi splin.

Untuk tujuan estimasi  $f$  yang diasumsikan “smooth”, maka secara spesifik  $f$  dapat didekati dengan menggunakan fungsi splin berderajat  $q$  dengan  $m$  knot yang disajikan dalam bentuk [9]:

$$f(x) \approx \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_q x^q + \sum_{k=1}^m \beta_k (x - K_k)_+^q \quad (7)$$

dengan,

- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q$  = parameter polinomial
- $\partial_1, \partial_2, \dots, \partial_m$  = parameter *truncated*, dan
- $K_1, K_2, \dots, K_m$  = titik knot

Model yang digunakan memperhatikan tiga hal, yaitu orde atau derajat model polinomial, jumlah knot, dan lokasi penempatan knot. Orde polinomial ditentukan berdasarkan pola umum yang terjadi pada data. Sedangkan jumlah dan lokasi knot ditentukan berdasarkan perubahan pola perilaku data pada interval tertentu dari kurva [10]. Ada dua strategi untuk menyelesaikan masalah ini. Strategi 1 menggunakan knot yang relatif sedikit dengan alasan kesederhanaan model. Sedangkan strategi 2 menggunakan knot yang relatif banyak dengan alasan memperhatikan model matematis yang ada pada model [11].

### 3. Hasil dan Pembahasan

Ada perbedaan pada model fungsi berpangkat dari prediksi produktivitas galangan kapal kecil dan besar (Tabel 1). Demikian juga dengan produktivitas galangan kapal di dalam dan di luar U.S. Sedangkan data observasi produktivitas galangan kapal internasional menunjukkan perbedaan pola plot data dari keempat model fungsi yang dihasilkan. Oleh karena itu, dilakukan langkah plot kedua dengan didukung oleh aplikasi program Minitab dengan hasil sebagaimana ditunjukkan Tabel 2.

Plot data model regresi parametrik yang memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi untuk produktivitas galangan kapal adalah model regresi kubik dengan  $R^2$  mencapai 83,4% (Tabel 2). Selanjutnya untuk pendekatan ketiga dilakukan pendekatan regresi nonparametrik splin kubik dengan tiga variasi lokasi titik knot dan didukung oleh aplikasi program TIBCO Spotfire S+® 8.1 for Windows. Hasil rangkuman *running* pemrogramman S+ ditampilkan dalam beberapa gambar dan estimasi fungsi splin (Gambar 3, 4, 5, 6, 7, 8).

*Trendline* dari nilai GCV memiliki pola menurun, kemudian pada titik tertentu terjadi pola naik (Gambar 3). Titik balik ini merupakan titik optimum untuk lokasi knot dengan nilai GCV yang kecil, dimana titik knot tersebut terletak pada titik 3,78 dan hasil estimasi fungsi splin kubik dengan 1 knot adalah sebagai berikut:

$$\hat{f}(x) = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 x + \hat{\beta}_3 x^2 + \hat{\beta}_4 x^3 + \hat{\beta}_5 (x - K)_+^3 \quad (8)$$

$$\hat{f}(BP) = -11798,6867 + 10082,2923 BP$$

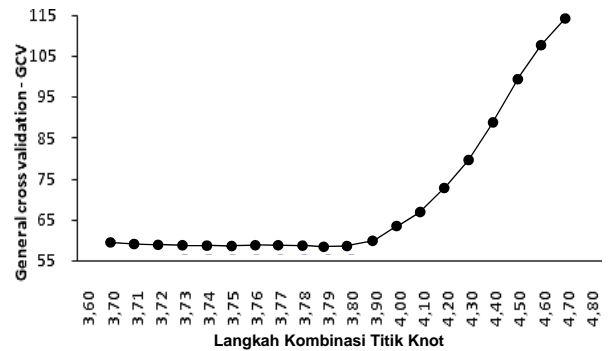
$$- 2823,1641 BP^2 + 260,5077 BP^3$$

$$- 324,5153 (BP - 3,78)_+^3$$

dengan GCV = 58,144568 dan  $R^2 = 93,19\%$ .

**Tabel 2. Model Regresi Parametrik Linier, Kuadratik, dan Kubik**

No	Fungsi Plot Data	Regresi	$R^2$
1	PD = 192,4 - 38,31 BP	liniar	75,6%
2	PD = 507,2 - 193,9 BP + 18,89 BP <sup>2</sup>	kuadratik	82,5%
3	PD = - 329,7 + 445,8 BP - 141,7 BP <sup>2</sup> + 13,25 BP <sup>3</sup>	kubik	83,4%



**Gambar 3. Pola GCV dengan 1 Knot**

Terdapat keterkaitan nilai GCV yang semakin kecil akan diikuti dengan jarak antar 2 knot yang semakin pendek juga (Gambar 4 dan Gambar 5). Nilai dua titik knot yang optimal adalah 4,25 dan 4,50 dengan hasil estimasi fungsi splin kubik dengan 2 knot adalah sebagai berikut:

$$\hat{f}(x) = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 x + \hat{\beta}_3 x^2 + \hat{\beta}_4 x^3 + \hat{\beta}_5 (x - K_1)_+^3 \quad (9)$$

$$+ \hat{\beta}_6 (x - K_2)_+^3$$

$$\hat{f}(BP) = -6958,6412 + 5866,2519 BP$$

$$- 1605,5961 BP^2 + 143,9166 P^3$$

$$- 897,5604 (BP - 4,25)_+^3$$

$$+ 1322,8633 (BP - 4,50)_+^3$$

dengan GCV = 56,21556 dan  $R^2 = 94,03\%$

Terdapat keterkaitan nilai GCV yang semakin kecil akan diikuti dengan perubahan jarak diantara 3 knot tersebut (Gambar 6 dan Gambar 7), dimana titik knot-2 mendekati titik knot-3 dan sebaliknya titik knot-1 menjauhi titik knot-3. Nilai tiga titik knot yang optimal adalah 3,58, 4,40 dan 4,50 dengan hasil estimasi fungsi spline kubik dengan 3 knot adalah sebagai berikut:

$$\hat{f}(x) = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 x + \hat{\beta}_3 x^2 + \hat{\beta}_4 x^3 + \hat{\beta}_5 (x - K_1)_+^3 \quad (10)$$

$$+ \hat{\beta}_6 (x - K_2)_+^3 + \hat{\beta}_7 (x - K_3)_+^3$$

$$\hat{f}(BP) = -13351,5483 + 11517,3342 BP$$

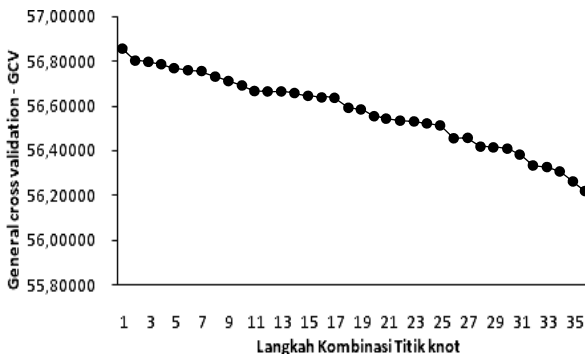
$$- 3263,8745 BP^2 + 305,4803 P^3$$

$$- 246,3271 (BP - 3,58)_+^3$$

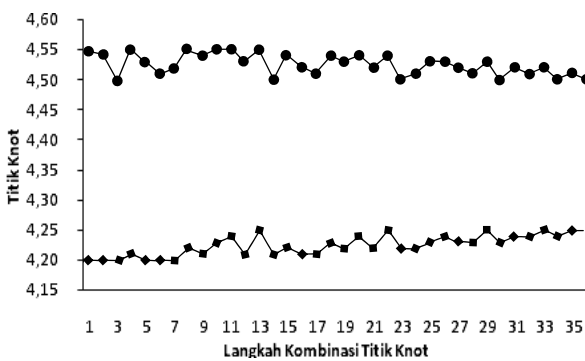
$$+ 2107,4847 (BP - 4,40)_+^3$$

$$+ 2770,0206 (BP - 4,50)_+^3$$

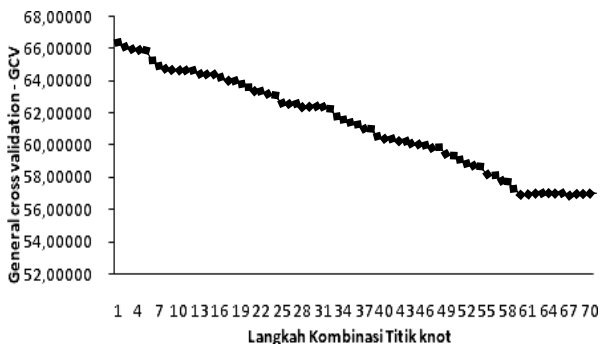
dengan GCV = 56,96600 dan  $R^2 = 94,54\%$ .



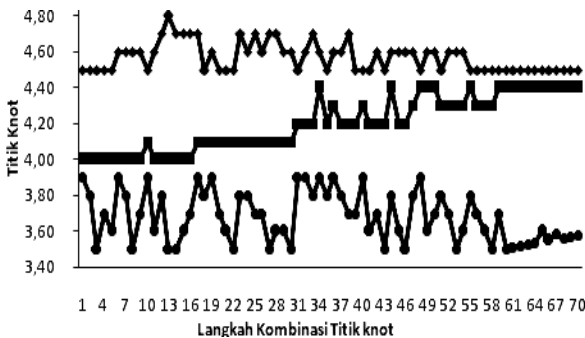
Gambar 4. Pola GCV dengan 2 Knot



Gambar 5. Pola Kombinasi dengan 2 Knot. Knot-2 (●), Knot-1 (◆)



Gambar 6. Pola GCV dengan 3 Knot



Gambar 7. Pola Kombinasi dengan 3 Knot. Knot-1 (●), Knot-2 (■), Knot-3 (◆)

Berdasarkan uraian tersebut untuk model splin kubik dengan variasi 1 knot, 2 knot dan 3 knot, maka pemilihan estimasi kurva regresi nonparametrik yang sesuai untuk peningkatan produktivitas pembangunan kapal melalui pengembangan teknologi adalah dengan melakukan iterasi penetapan titik lokasi knot agar supaya tercapai nilai GCV paling kecil sesuai dengan yang ditampilkan pada Tabel 3.

Memperhatikan nilai GCV yang paling kecil dan  $R^2$  yang paling besar, maupun kesederhanaan akan model pada Tabel 3, maka estimasi kurva regresi nonparametrik yang optimum untuk produktivitas galangan kapal adalah splin kubik dengan dua lokasi titik knot. Sedangkan gabungan estimasi kurva regresi parametrik maupun nonparametrik ditunjukkan pada Gambar 7.

Demikian juga untuk pola fungsi splin kubik dengan dua titik knot pada Gambar 8 menunjukkan bahwa fungsi penggalan pertama untuk peranan prediktor-BP terletak diantara 3,00 hingga 4,25 terhadap respon-PD. Sedangkan fungsi penggalan kedua untuk peranan prediktor-BP terletak diantara 4,26 hingga 4,50 dan fungsi penggalan ketiga terletak lebih dari 4,50.

Hasil observasi dan estimasi terhadap pengembangan teknologi dan tingkat produktivitas dari empat galangan kapal di Indonesia memiliki kesetaraan dengan beberapa galangan kapal di Eropa (Tabel 4). Rincian observasi dan estimasi pada keempat galangan tersebut adalah sebagai berikut:

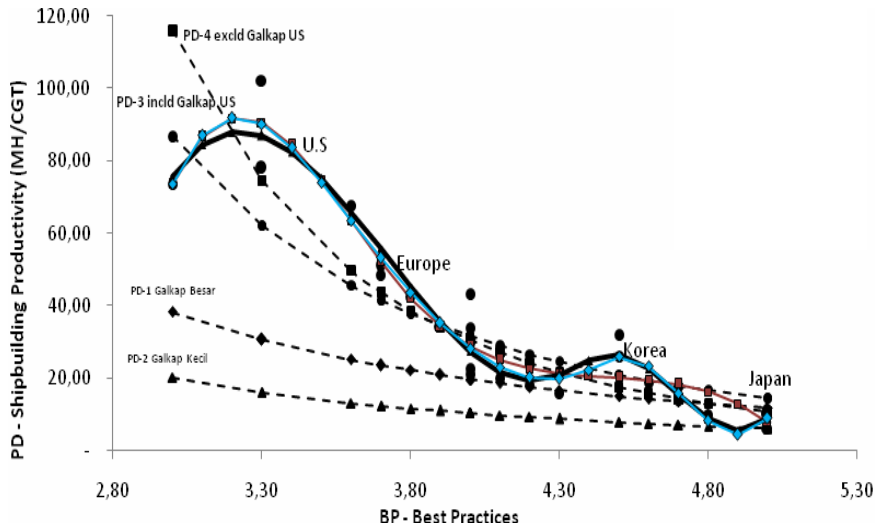
- a. PT. Batamec Shipyard
  - 1) BP sebesar 3,9 dan  $PD_{\text{aktual}}$  sebesar 41,44 MH/CGT.
  - 2) Estimasi regresi berpangkat mencapai 34,64 MH/CGT.
  - 3) Estimasi splin kubik dengan 2 knot mencapai 35,61 MH/CGT.
  - 4) Perbedaan antara  $PD_{\text{aktual}}$  dan  $PD_{\text{estimasi}}$  splin kubik dengan 2 knot sebesar -5,82 MH/CGT.
- b. PT. Dok & Perkapalan Surabaya
  - 1) BP sebesar 4,0 dan  $PD_{\text{aktual}}$  sebesar 50,88 MH/CGT.
  - 2) Estimasi regresi berpangkat mencapai 31,70 MH/CGT.
  - 3) Estimasi splin kubik dengan 2 knot mencapai 27,49 MH/CGT.
  - 4) Perbedaan antara  $PD_{\text{aktual}}$  dan  $PD_{\text{estimasi}}$  splin kubik dengan 2 knot sebesar -23,39 MH/CGT.
- c. PT. Karimun Sembawang Shipyard
  - 1) BP sebesar 4,0 dan  $PD_{\text{aktual}}$  sebesar 54,06 MH/CGT.
  - 2) Estimasi regresi berpangkat mencapai 31,70 MH/CGT.
  - 3) Estimasi splin kubik dengan 2 knot mencapai 27,49 MH/CGT.

- 4) Perbedaan antara PD<sub>aktual</sub> dan PD<sub>estimasi</sub> spline kubik dengan 2 knot sebesar -26,57 MH/CGT.
- d. PT. PAL Indonesia
  - 1) BP sebesar 4,26 dan PD<sub>aktual</sub> sebesar 50,31 MH/CGT.
  - 2) Estimasi regresi berpangkat mencapai 25,43 MH/CGT.
  - 3) Estimasi spline kubik dengan 2 knot mencapai 19,89 MH/CGT.
  - 4) Perbedaan antara PD<sub>aktual</sub> dan PD<sub>estimasi</sub> spline kubik dengan 2 knot sebesar -30,42 MH/CGT.

Kondisi perbedaan antara PD<sub>aktual</sub> dan PD<sub>estimasi</sub> splin kubik dengan 2 knot yang dipengaruhi oleh parameter BP dari keempat galangan kapal tersebut menunjukkan pola bahwa: 1) Semakin besar nilai BP yang dimiliki perusahaan, maka semakin besar pula upaya perusahaan untuk meningkatkan utilisasi pemanfaatan pengembangan teknologi perkapalan dalam bentuk efisiensi penggunaan material, 2) Semakin besar nilai perbedaan antara PD<sub>aktual</sub> dan PD<sub>estimasi</sub> splin kubik dengan 2 knot, maka semakin besar pula upaya perusahaan untuk melakukan rasionalisasi ke arah produksi dalam bentuk efisiensi penggunaan jam orang.

Tabel 3. Pemilihan Estimasi Splin Kubik

Knot	Lokasi knot	GCV	R <sup>2</sup> (%)	Kurva splin	Kesimpulan
1	3,78	58,14456	93,19	f(x) - 1 knot	-
2	4,25; 4,50	56,21556	94,03	f(x) - 2 knot	Optimum
3	3,58; 4,40; 4,50	56,96600	94,54	f(x) - 3 knot	-



Gambar 8. Estimasi Kurva Regresi Berpangkat dan Splin Kubik. obs PD (●), PD-1 (--◆--), PD-2 (--▲--), PD-3 (--●--), PD-4 (--■--), f(x)-1knot (—■—), f(x)-2knot (—▲—), f(x)-3knot (—◆—)

Tabel 4. Aplikasi Estimasi Splin Kubik dengan 2 Knot bagi Galangan Kapal di Indonesia

Perusahaan	BP	PD <sub>aktual</sub> MH/CGT	PD <sub>Pers. (3)</sub>	Fungsi PD <sub>estimasi</sub>	Hasil Estimasi MH/CGT
Batamec Shipyard	3,90	41,44	34,64	$\hat{f}(BP) = -6958,6412 + 5866,2519 BP$	35,61
Dok & Perkapalan Surabaya	4,00	50,88	31,70	$-1605,5961 BP^2 + 143,9166 P^3$	27,49
Karimun Sembawang Shipyard	4,00	54,06	31,70		27,49
PAL Indonesia	4,26	50,31	25,43	$\hat{f}(BP) = -6958,6412 + 5866,2519 BP$ $-1605,5961 BP^2 + 143,9166 P^3$ $-897,5604 (BP - 4,25)_+^3$	19,89
-	>4,5	-	-	$\hat{f}(BP) = -6958,6412 + 5866,2519 BP$ $-1605,5961 BP^2 + 143,9166 P^3$ $-897,5604 (BP - 4,25)_+^3$ $+1322,8633 (BP - 4,50)_+^3$	-

Sumber: Hasil observasi dan kuesioner, diolah

#### 4. Simpulan

Kajian pengaruh pengembangan teknologi terhadap upaya peningkatan produktivitas pembangunan kapal dilakukan melalui estimasi kurva regresi berpangkat dan splin kubik. Pengembangan model splin kubik dengan 2 titik knot sebagai fungsi estimasi memiliki koefisien determinasi yang lebih baik dari model regresi berpangkat.  $PD_{estimasi}$  splin kubik dengan 2 knot untuk keempat galangan kapal di Indonesia, meliputi: PT. Batamec shipyard 35,61 MH/CGT, PT. Dok & Perkapalan Surabaya 27,49 MH/CGT, PT. Karimun Sembawang Shipyard 27,49 MH/CGT, dan PT. PAL Indonesia 19,89 MH/CGT. Galangan kapal sebagai salah satu industri dengan jumlah tenaga kerja yang cukup besar, maka penelitian ini akan dilanjutkan pada penambahan parameter jumlah tenaga kerja sebagai satu kesatuan dari fungsi splin kubik dengan titik knot yang optimal.

#### Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Mr. Ling Jiwen, Ann Parker-Way, dan Rames A. Bala selaku distributor TIBCO Spotfire S+® 8.1 for Windows Seattle, USA, <http://www.tibco.co>, Star Works, Singapore.

#### Daftar Acuan

- [1] KPIN, Analisa Daya Saing Internasional Sektor Industri, Kebijakan Pembangunan Industri Nasional, Departemen Perindustrian Republik Indonesia, Jakarta, 2004.
- [2] M. Porter, Competitive Advantage Creating and Sustaining Superior Performance, SimonSays.com, 1998.
- [3] I.P. Mulyatno, Majalah Kapal, 3/1 (2004) 62.
- [4] S. Nagatsuka, Study of the Productivity of Japan and South Korea's Shipbuilding Yards Based on Statistical Data, Japan Maritime Research Institute (JAMRI), The Manufacturing Technology (MANTECH) Program and National Shipbuilding Research Program (NSRP), 2000.
- [5] NSRP ASE, Benchmarking of U.S. Shipyard: Industry Report, 2001.
- [6] T. Lamb, A. Hellesoy, Journal of Ship Production 18/2 (2002) 79.
- [7] A. Bilfarsah, J. Makara Seri Sains, 9/1 (2005) 28.
- [8] R.L. Eubank, Nonparametric Regression and Spline Smoothing, 2<sup>nd</sup> ed, Marcell Dekker, Inc., New York, 1999, p. 438.
- [9] T.C.M. Lee, Stat. Probab. Lett. 48 (2002) 71.
- [10] B. Anderson, Regression III: advanced methods, lecturer 15: regression spline [internet], 2005 [access: 20 Mei 2005]. Available from: <http://socserv.mcmaster.ca/anderson/15.spline.pdf>.
- [11] M.P. Wand, Comput. Stat. 15 (2000) 443.