

EKSTRAKSI FITUR DOMAIN WAKTU GUNA MENENTUKAN KELAYAKAN GETARAN PADA BEARING ALAT UJI REM KERETA CEPAT

*Iqbal Maulana Gusni¹, Achmad Widodo², Ismoyo Haryanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

E-mail: iqbalmaulg@students.undip.ac.id

Abstrak

Indonesia sedang mengembangkan industri kereta cepat berstandar internasional dalam proyek Kereta Api Makassar – Parepare yang melibatkan Universitas Diponegoro bersama dengan instansi BRIN dan PT INKA sebagai industri perkeretaapian Indonesia mengembangkan alat uji rem kereta. Alat uji rem ini ditujukan untuk mensimulasikan pengereman kereta pada kecepatan 160 km/jam pada kondisi kering dan trek lurus dengan perbandingan skala 1:4 dari ukuran aslinya. Salah satu kriteria yang penting dari sebuah mesin adalah keselamatannya, dimana salah satu aspek yang mempengaruhi keselamatan dalam kinerja sebuah mesin yaitu getarannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren fluktuasi yang terjadi dari data getaran yang diproses melalui ekstraksi fitur domain waktu. Dilakukan juga *post processing* untuk memperlihatkan data getaran yang sudah dilakukan pelembutan dan pengurangan *noise*. Selain mengamati fluktuasi yang terjadi pada rentang rpm yang ditentukan, kelayakan getaran pada mesin juga dilihat berdasarkan nilai *Velocity Root Mean Square* (*Vrms*) pada rentang rpm yang ditentukan merujuk pada standar ISO 10816 yang mengkategorikan tingkat kelayakan mesin berdasarkan hasil pengukuran kecepatan getarannya.

Kata kunci: ekstraksi fitur; standar iso 10816; test rig rem kereta

Abstract

*Indonesia is developing an international high speed train industry in the Makassar – Parepare Railway project which involve Diponegoro University along with BRIN and PT INKA as the Indonesian Railroad industry developing a train brake test rig. This brake test rig is intended to simulate train braking at a speed of 160 km/h on dry conditions and straight tracks with a scale ratio of 1:4 of the original size. On of the important criteria of machine it's safety, where one of the aspects that affect safety in the performance of a machine is its vibration. This study aims to analyze the fluctuation trends that occur from vibration data processed through time domain feature extraction. Post processing is also carried out to show vibration data that has been softened and noise reduced. In addition to observing the fluctuations that occur in the specified rpm range, the feasibility of vibration on the machine is also seen based on the Velocity Root Mean Square (*Vrms*) value in the specified rpm range referring to the ISO 10816 standard which categorized the feasibility level of the machine based on the measurement results of its vibration velocity.*

Keywords: feature extraction; iso 10816 standar; train brake test rig

1. Pendahuluan

Transportasi kereta api memiliki banyak keuntungan ekonomis dibandingkan metode transportasi udara dan jalan raya, kereta api memiliki kapasitas angkut yang lebih besar daripada truk, dan rel kereta api menggunakan ruang sekitar 50% lebih sedikit dibandingkan dengan jalan raya (Ding, 2024). Di Indonesia, pembangunan kereta api lebih banyak dilakukan untuk menghubungkan berbagai titik maupun wilayah, hal itu dilakukan guna meningkatkan mobilisasi barang, jasa dan sumber daya manusia yang diangkut sebagai bagian dari aktivitas perekonomian di masyarakat, sehingga meningkatkan kesejahteraan negara. (PEHA, 2020).

Dalam rangka pengembangan riset pengereman kereta, diperlukan alat uji pengereman kereta cepat untuk menggambarkan kondisi sebenarnya saat terjadi pengereman pada saat kereta bergerak pada kecepatan 160 km/jam. Pengereman yang diterapkan pada 3 kereta cepat ini melibatkan beberapa gaya yang dikombinasikan diantaranya pengereman regeneratif dan pengereman pneumatik.

Aspek penting yang harus ada di dalam sebuah mesin uji adalah kelayakannya, salah satu aspek yang menyatakan layak atau tidaknya sebuah mesin uji adalah berdasarkan hasil pengukuran getarannya. Standar kelayakan getaran pada mesin dievaluasi dalam Standar ISO 10816 yang memberikan panduan untuk mengevaluasi tingkat keparahan getaran dalam mesin yang beroperasi pada rentang frekuensi 10 hingga 200 Hz (600 hingga 12000 rpm) (Jung *et al.*, 2023).

Dari beberapa metode pemantauan kondisi getaran, metode penghitungan *Vibration Velocity Root Mean Square* (VRMS) masih menjadi metode evaluasi kondisi mesin yang paling kuat dan populer dan sering dilakukan sesuai dengan persyaratan standar internasional (Robichaud and Eng, 2009).

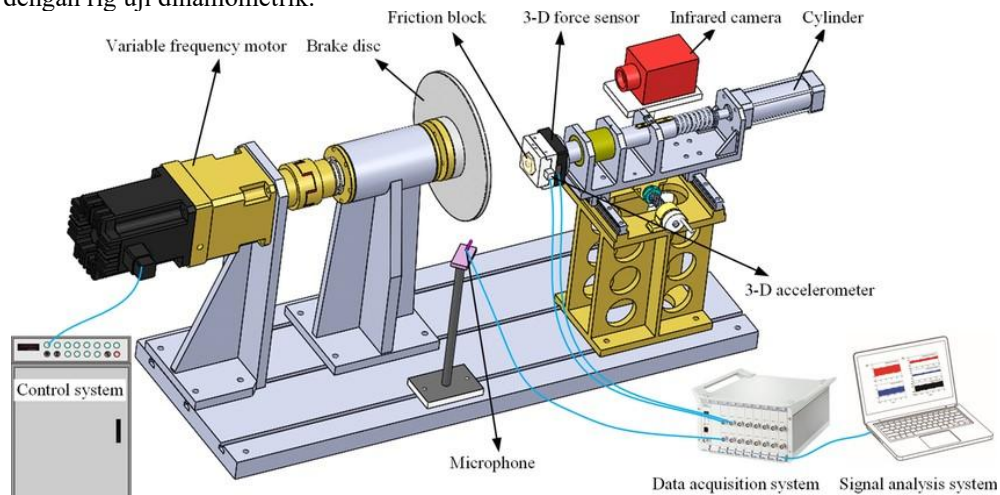
Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis hasil dari ekstraksi fitur domain waktu yang dihasilkan dari pengukuran getaran alat uji rem kereta cepat
2. Mengetahui kelayakan alat uji rem kereta cepat saat beroperasi berdasarkan standar ISO 10816

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Test Rig Rem Kereta Api

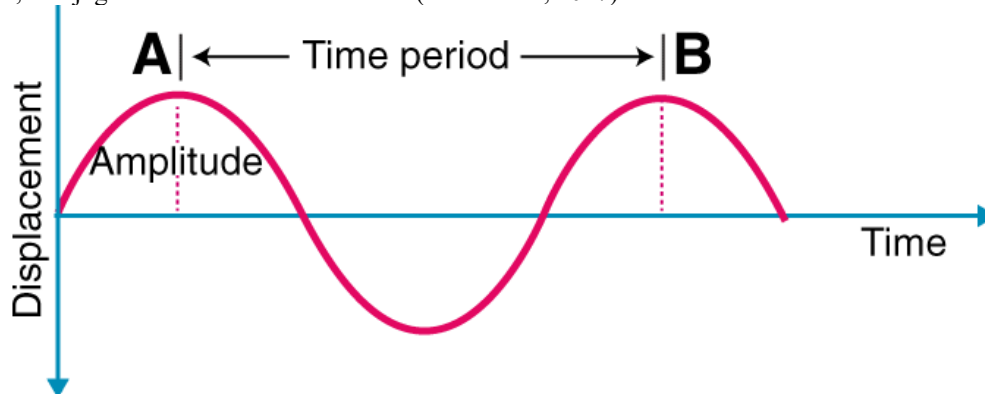
Performa pengereman memainkan peran kunci untuk keselamatan kereta api (Pugi dkk, 2023). Kelayakan dan keandalan dari bahan gesekan yang digunakan untuk rem kereta harus diverifikasi pada rig uji khusus (Borawski, 2019) yang disebut dengan rig uji dinamometrik.



Gambar 1. Skema Pengujian Rem Menggunakan Dinamometrik

2.2 Akuisisi data Getaran

Kerusakan atau keausan serta deformasi akan merubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi getaran. Sedangkan gaya yang menyebabkan getaran ini dapat ditimbulkan oleh beberapa sumber kontak/benturan antara komponen yang bergerak/berputar, putaran dari massa yang tidak seimbang (unbalance mass), miss alignment, dan juga karena kerusakan bantalan (Arifin dkk., 2017).



Gambar 2. Gerak Harmonik Sederhana

2.3 Periode

Periode waktu 'T' adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu siklus lengkap getaran untuk melewati titik tertentu. Ketika frekuensi gelombang meningkat, maka periode waktu gelombang akan menurun. Periode sering disebut sebagai durasi harmonik karena gerakan harmonik memiliki periode yang tetap, konsep harmonik ini juga diterapkan pada bandul dan detak jantung (Faisal dkk, 2019).

2.4 Akuisisi data Getaran

Akuisisi data getaran dilakukan menggunakan akselerometer tiga sumbu Dytran 3055, akuisisi data getaran dilakukan menggunakan software VibraQuest, set parameter frekuensi maksimal 10000 Hz. Data hasil pengukuran berupa waktu, kecepatan putar, dan percepatan akselerometer

```
Title: UJII KE 3
Parameters:

DAQ Settings:
Frequency Limit 5000.000000
Spectral Lines 1600
Number of Blocks 5
Total Data Rows 20480
Channels:
Legend RPM ACCH ACCV ACCA

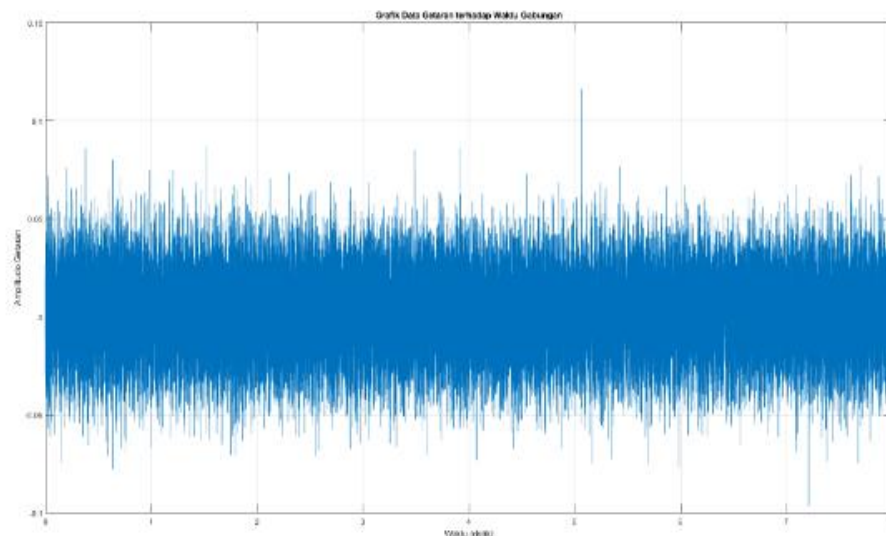
On/Off ON ON ON ON

Volts/Unit 1.000000 0.101000 0.101000 0.101000

Time (seconds) and Data Channels
0.00000000 0.06838693 -0.18845932 0.05842126 0.85356677
0.00007813 0.06840092 0.31386006 0.08520604 0.46674705
0.00015625 0.06840092 -0.03089327 -0.13935812 0.38002473
0.00023437 0.06838948 0.07331420 0.37475464 0.30456442
0.00031250 0.06837422 0.55365825 0.32548508 0.88120461
0.00039063 0.06837548 0.31744117 0.49557403 0.33600098
```

Gambar 3. Data Hasil Pengukuran

Data mentah yang telah diakuisisi selanjutnya diunggah ke Matlab untuk ditampilkan domain waktu. Plot domain waktu pada Gambar 4 dapat memberikan wawasan tentang karakteristik dasar sinyal dan membantu dalam pemahaman ekstraksi fitur yang digunakan simulasi kasus.



Gambar 4. Plot Domain Waktu Sinyal Getaran

2.5 Ekstraksi Fitur Sinyal Getaran

Pengukuran sinyal getaran biasanya diperoleh dari pengujian mesin berputar secara yang memiliki gerakan acak. Karena sifat acaknya ini, sinyal getaran tidak bisa dijelaskan secara langsung menggunakan rumus matematika, metode analisis getarannya adalah menggunakan teknik statistic yang berkaitan dengan waktu (Nandi, A. K., & Ahmed, H. (2019). Terdapat berbagai jenis fungsi statistic yang sering digunakan untuk melakukan ekstraksi ciri-ciri sinyal getaran dalam domain waktu berdasarkan amplitude sinyal.

Tabel 1. Fitur dan Rumus Perhitungan dari Fitur Statistik Domain Waktu

Fitur	Rumus Perhitungan
Mean	$Mean = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$

Root Mean Square (RMS)	$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$
Standar Deviasi	$Std = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}{(N - 1)\sigma^2}}$
Variance	$Var = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}{(N - 1)\sigma^2}$
Skewness	$Ske = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^3}{(N - 1)\sigma^3}$
Kurtosis	$Ku = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^4}{(N - 1)\sigma^4}$
Shape Factor	$SF = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i}$
Crest Factor	$CF = \frac{\max x_i }{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}}$

2.6 Standar ISO 10816

Standar ISO 2372 (10816) “Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurement on Non-Rotating Parts.” merupakan pedoman untuk pengukuran dan evaluasi tingkat keparahan getaran mekanis pada mesin. Standar ini dirancang untuk membantu pengukuran getaran mesin pada rentang frekuensi 10 hingga 200 Hz (600 hingga 12.000 RPM).

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
Machine		Class I Small Machines	Class II Medium Machines	Class III Large Rigid Foundation	Class IV Large Soft Foundation	
In/s	mm/s					
Vibration Velocity Vms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71				
	0.04	1.12			GOOD	
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		SATISFACTORY		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		UNSATISFACTORY		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		UNACCEPTABLE		
	1.10	45.0				

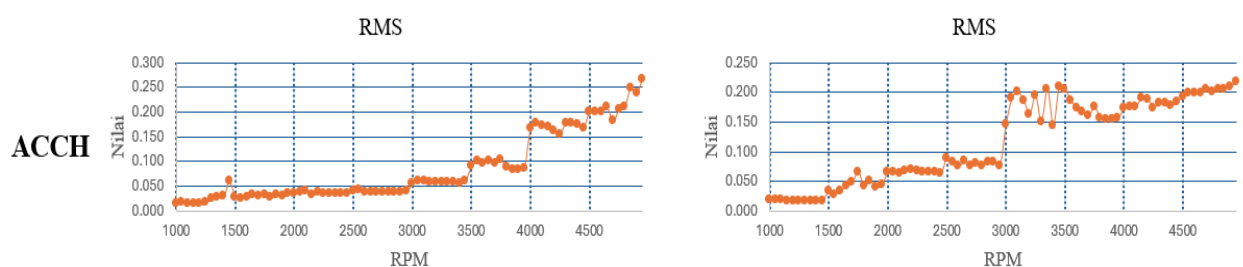
Gambar 5. Vibration Severity Per ISO 10816

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Ekstraksi Data Getaran

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan software matlab kita bisa dapatkan hasilnya. Didapatkan plot dari sinyal getaran yang diekstraksi terhadap waktu selama 50 hari dengan pengambilan sinyal getaran selama 6 detik per hari. Total terdapat 11 fitur statistik domain waktu yang di plot terhadap waktu. Plot fitur statistik dapat dilihat pada gambar dibawah

Nilai RMS Bearing 1 dan 2

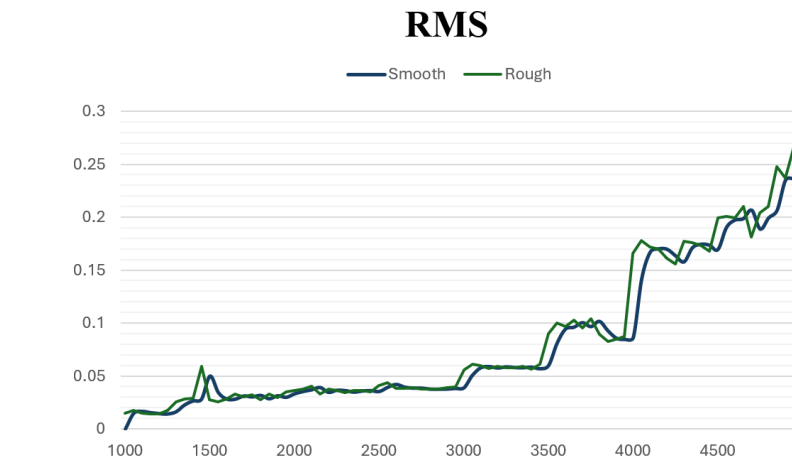


Gambar 6. Grafik RMS Akselerometer Horizontal pada Bearing 1

Salah satu plot hasil ekstraksi fitur yang dapat dianalisis adalah nilai RMS, dari Gambar 6 diatas dapat dikatakan bahwa pada rentang 1000 – 3000 rpm menunjukkan nilai RMS yang rendah dan tidak ada fluktuasi, namun pada rentang 3000 – 4400 rpm terlihat bahwa ada fluktuasi rpm yang signifikan. Hal ini menandakan adanya gangguan pada saat mesin beroperasi melebihi kecepatan 3000 rpm.

3.2 Hasil Smoothing Data Getaran

Berikut merupakan perbandingan plot RMS sebelum dan setelah dilakukan proses smoothing.

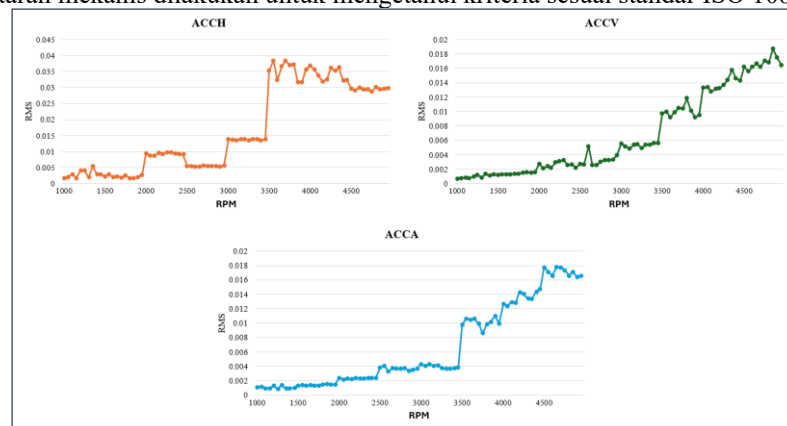


Gambar 7. Perbandingan Plot RMS Bearing 1 Sebelum dan Sesudah Smoothing

Gambar 7 diatas merupakan grafik RMS bearing 1 yang menunjukkan adanya sedikit *noise* yang tidak diinginkan dalam pengukuran. Setelah melakukan *smoothing*, garis biru terlihat lebih halus dan beberapa puncak yang memiliki fluktuasi sedikit berkurang.

3.3 Kelayakan Getaran Test Rig Rem Kereta Cepat Berdasarkan ISO 10816

Pengukuran getaran mekanis dilakukan untuk mengetahui kriteria sesuai standar ISO 10816.



Gambar 8. Plot Kenaikan RMS Bearing 1 pada rentang 1000 – 4400 RPM

Berdasarkan Gambar 8 diatas dapat dikatakan bahwa nilai tertinggi RMS berada pada pengukuran 3500 RPM dengan nilai 0.038 in/s, nilai ini dapat dikategorikan sebagai ‘Satisfactory’ berdasarkan standar ISO 10816.

4. Kesimpulan

Hasil dari ekstraksi fitur domain waktu menunjukkan bahwa kondisi bearing terbilang aman dan stabil saat mesin berada pada kecepatan 1000 – 3000 rpm dan mengalami anomaly pada saat mesin dioperasikan pada rentang 3000 – 4400 rpm. Jika merujuk pada standar ISO 10816, hasil pengukuran bearing masih menunjukkan keterangan ‘Good’ sampai ‘Satisfactory’.

5. Daftar Pustaka

- [1] Arifin, Z., Zakki, A. F., & Iqbal, M. (2017). Studi Karakteristik Getaran Global Kapal Supply Vessel 70 M Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1), 137–141. <http://ejournal->

-
- s1.undip.ac.id/index.php/naaval ISSN
- [2] Arun Faisal, I., Waluyo Purboyo, T., & Siswo Raharjo Ansori, A. (2019). A Review of Accelerometer Sensor and Gyroscope Sensor in IMU Sensors on Motion Capture. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(3), 826–829. <https://doi.org/10.36478/jeasci.2020.826.829>
 - [3] Borawski, A. (2019). Common methods in analysing the tribological properties of brake pads and discs-A review. *Acta Mechanica et Automatica*, 13(3), 189–199. <https://doi.org/10.2478/ama-2019-0025>
 - [4] Wang Z, He H, Peng J, Chen W, Wu C, Fan Y, et al. A comparative study of deep reinforcement learning based energy management strategy for hybrid electric vehicle. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2023;293(July):117442. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117442>
 - [5] Jung, W., Yun, S. H., Lim, Y. S., Cheong, S., & Park, Y. H. (2023). Vibration and current dataset of three-phase permanent magnet synchronous motors with stator faults. *Data in Brief*, 47, 108952. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.108952>
 - [6] Robichaud, J., & Eng, P. (2009). Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis. *Bretech Engineering Ltd*, 1–10. [http://www.hdutil.com.br/site/arquivos/manutencao/analise de vibracoes/ReferenceStandardsforVibrationMonitoringandAnalysis.pdf](http://www.hdutil.com.br/site/arquivos/manutencao/analise%20de%20vibracoes/ReferenceStandardsforVibrationMonitoringandAnalysis.pdf)
 - [7] Ding, D., & Wu, X.-Y. (2024). Hydrogen fuel cell electric trains: Technologies, current status, and future. *Applications in Energy and Combustion Science*, 17(February), 100255. <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2024.100255>
 - [8] Kepski, P., Gren, B., & Barszcz, T. (2014). Vibration velocity RMS in online monitoring systems - Frequency spectra based algorithm approach. *Vibroengineering Procedia*, 3, 111–116.
 - [9] Pugi, L., Rosano, G., Viviani, R., Cabrucci, L., & Bocciolini, L. (2023). Modeling, testing and validation of the vibrational behavior of a dynamometric test rig for railway braking systems. *World Journal of Engineering*, January. <https://doi.org/10.1108/WJE-07-2022-0298>
 - [10] Sujatha, C. (2010). *Vibration and Acoustics: Measurement and Signal Analysis* (1st Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070148789>