

## PENGEMBANGAN ALAT PERCOBAAN MULTIPLANE BALANCING MACHINE UNTUK PENDIDIKAN TEKNIK MESIN BIDANG GETARAN MEKANIS

Wahyu Nirbito, Ekania Widyasari

Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Jawa Barat 16424

Email: awahyu.nirbito@ui.ac.id

### Abstrak

Salah satu penyebab utama kerusakan pada mesin mesin rotasi (*rotating machinery*) adalah ketidak-seimbangan (*unbalance*) khususnya yang terjadi pada bidang rotor yang berbeda. Kebutuhan yang besar untuk mengatasi permasalahan ini pada berbagai aplikasi industri seringkali tidak diiringi dengan pengetahuan dan keterampilan tentang menyeimbangkan (*balancing*) mesin secara baik. Penelitian dalam bentuk pengembangan alat ini ditujukan untuk dapat menghasilkan suatu alat penyeimbang rotor mesin rotasi pada bidang yang berbeda (*multiplane balancing machine*). Alat percobaan ini memiliki diameter maksimum cakram 160 mm, dengan diameter jurnal antara 20 mm sampai 150 mm, panjang maksimum keseluruhan 450 mm dan berat maksimum 70 N. Alat ini dirancang dapat digunakan dalam skala laboratorium untuk kegiatan pendidikan, pelatihan dan penelitian di institusi akademik ataupun aplikasi untuk rotor ukuran kecil terbatas untuk kebutuhan industri. Alat *Multiplane balancing machine* ini dikembangkan diatas sisa rangka alat praktikum getaran mekanis yang sudah tua, rusak dan tidak lengkap sehingga sudah tidak dapat digunakan lagi. Alat ini dikembangkan terdiri dari kotak kontrol, *cradle*, motor 12 volt DC, *accelerometer*, lampu *stroboscope* dengan kisaran frekuensi 8-16 Hz dan tegangan 12 volt yang tersambung dengan data akuisisi NI 9234 dan NI cDAQ 9174 serta instrumentasi *virtual platform NI LabView 2010*. Proses penyeimbangan (*balancing*) dilakukan melalui pembacaan amplitudo dan beda fase serta analisis penjumlahan vektor untuk mengetahui besar dan lokasi massa penyeimbang (*counter balance*). Dengan demikian diharapkan pelaksana akan mendapat juga pemahaman teori nya dengan jelas dan benar disamping ketrampilan menyeimbangkan rotor walaupun dalam skala kecil. Alat *Multiplane balancing machine* inipun dirancang dapat menyeimbangkan rotor hingga amplitudo getaran memenuhi tingkat kualitas G1 dalam ISO 1940, yang tingkatannya diatas standar secara umum di industri yaitu tingkat kualitas G2.5.

**Keywords:** *balancing, unbalance, balancing machine, multiplane*, beda fase

### Pendahuluan

Setiap mesin yang memiliki bagian yang berputar yang dapat mengalami *unbalance* dapat menurunkan performa mesin dan bisa juga merusak mesin tersebut. *Unbalance* sendiri dapat diakibatkan oleh kesalahan dalam proses permesinan atau assembly, eksentrisitas komponen, adanya kotoran dalam proses pengecoran, korosi dan keausan, penumpukan material misalnya debu pada fan atau kompresor dan *blower*, dan komponen yang bengkok atau patah.

*Balancing* dapat dilakukan dengan berbagai cara dan berbagai perusahaan jasa menyelenggarakan jasa *balancing* dengan cara yang berbeda disesuaikan dengan penggunaan alat *balancing* yang diproduksi oleh produsen. Rotor merupakan bagian penting di mesin khususnya *rotary*

*machine* seperti pada motor elektrik, *fan*, turbin, *disc brakes*, *disc drives*, *propeler* dan pompa. Proses pemeliharaan rotor menjadi penting dan biasanya masalah yang terjadi adalah karena ketidak-seimbangan rotor (*unbalance*).

Berbagai metode bisa digunakan, ada yang berupa metode analitik dan sebagian adalah eksperimental. Proses *balancing* dapat dilakukan secara *in situ* ataupun *ex situ*. Proses *balancing in situ* menggunakan alat pengukur yang *portable* dan untuk proses secara *ex situ* dapat digunakan mesin *balancing* dan penggunaan alat dan sensor yang tersedia.

*Balancing* sangat penting dan perlu untuk diketahui oleh mahasiswa teknik mesin khususnya, maka dibutuhkan juga alat peragaan *balancing* yang dapat digunakan untuk modul praktikum sehingga mahasiswa dapat lebih mengerti tentang pengoperasian mesin *balancing* secara umum dan metode yang digunakan untuk *balancing*.

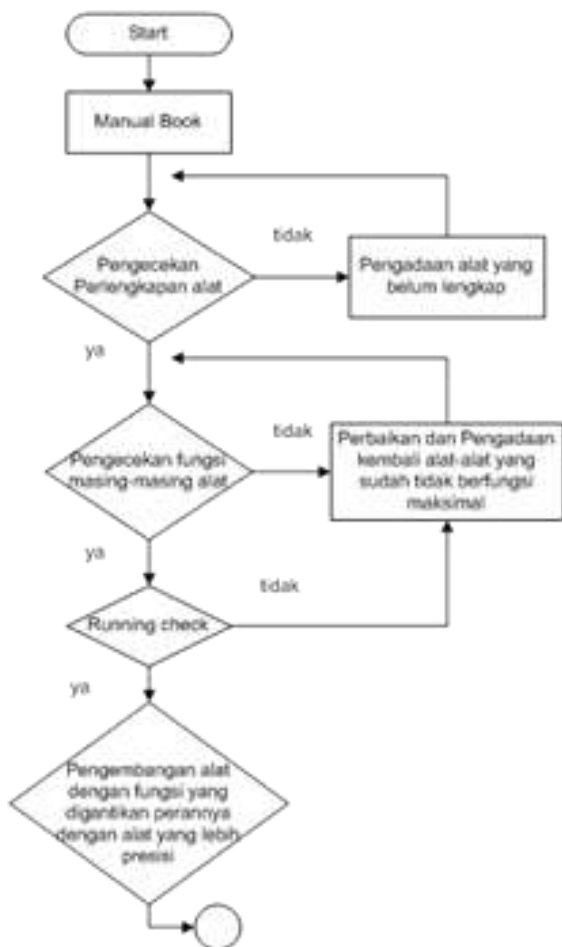
Tujuan utama penelitian ini adalah menghidupkan kembali *balancing machine* yang sudah tidak lengkap dan tidak berfungsi lagi, memberikan sarana untuk *balancing multiplane*, memberikan prosedur standar operasi untuk *balancing* bagi kepentingan pendidikan dan penelitian, memberikan kemampuan dan pengetahuan proses *balancing* kepada peserta, dan merubah rancangan sistem dengan mengembangkan metode komputerisasi.

**Metoda**

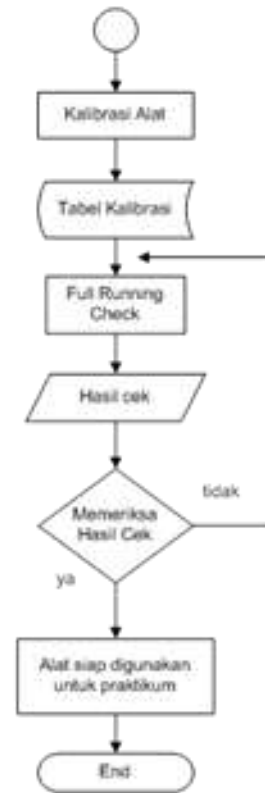
Hal utama yang penting harus diselesaikan dalam pengembangan alat ini adalah antara lain:

1. Pembuatan massa simulator *unbalance* dan *counter balance*.
2. Pengadaan atau penggantian part-part *balancing machine* yang sudah tidak ada maupun yang sudah tidak berfungsi lagi.
3. Pembuatan program pembacaan skala amplitudo pada kotak kontrol menggunakan NI DAQ, modul NI 9234 dan software LabView 2010.

Sistematika alur kerja disusun dalam bentuk *Flow Chart* dibawah ini.



**Gambar 1.** Sistematika alur kerja



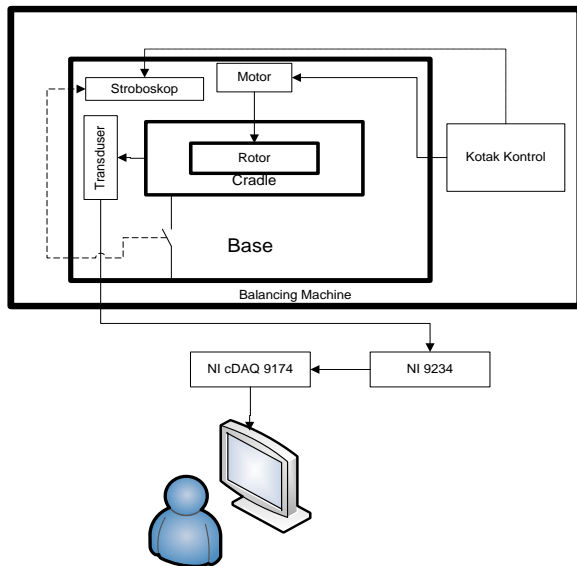
**Gambar 2.** Sistematika alur kerja (lanjutan)

Pembatasan lingkup kerja yaitu berupa spesimen rotor adalah 1 buah rotor yang terdiri dari 5 cakram, tidak ada atau dijaga sekali getaran dari luar dari mesin *balancing* itu sendiri dengan dudukan yang kuat/kencang, suhu dan tekanan ruangan dianggap konstan, bahan rotor dari baja tahan karat, massa *unbalance* dan massa *counter unbalance* terdiri dari 5 macam massa yaitu 8 gram, 11gram, 16 gram, 22 gram dan 31 gram serta dengan penambahan menggunakan mur, baut dan ring yang bisa ditentukan massanya dengan timbangan digital yang cukup akurat.

**Hasil dan Pembahasan**

*Pengembangan alat*

Dirancang dan dikembangkan suatu skema baru dari alat *multiplane balancing machine* dari sisa sisa alat lama yang ada. Pengembangan yang baru terutama pada aspek pengendalian, pengunduhan data, visualisasi proses dan inovasi inovasi perubahan peralatan keras yang sudah rusak maupun tidak bisa berfungsi lagi. Diagram skematik sistem baru yang dikembangkan untuk pengoperasian mesin penyeimbang banyak bidang (*multiplane balancing machine*) dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3.** Skematik *Balancing Machine* yang dikembangkan

Bagian-bagian *balancing machine* yang direvitalisasi dengan perbaikan maupun penggantian komponen sebagian atau seluruhnya, adalah sebagai berikut:

#### *Kotak kendali*



**Gambar 4.** Kotak kendali

Kotak kendali sebagai kendali kecepatan motor dan kendali frekuensi lampu stroboskop masih bisa diperbaiki dan digunakan kembali walaupun tidak bisa optimal, meter meter analog sudah tidak bisa berfungsi optimal sebagai pembacaan kendali sistem, tombol (*switch*) fungsi stroboskop internal dan eksternal bisa diganti baru.

#### *Motor Listrik*

Jenis motor adalah motor DC 12 volt. Motor menggerakkan rotor yang akan dibalans dengan transmisi *belt* dan dua buah puli. Mudah dan sudah diganti baru.

#### *Sensor Transduser*



**Gambar 5.** Transduser

Jenis sensor transduser merupakan accelerometer yang sudah diganti dengan yang sesuai alat DAQ baru NI. Gerakan *cradle* searah dengan perpanjangan batang dan gerakan transduser sehingga bisa terbaca sebagai amplitudo *displacement/velocity/acceleration* pada instrumentasi *virtual LabView*. Sebagai pengukur dan kalibrasi digunakan pula Vibrometer Schenk dan/atau Pruftechnik.

#### *Cradle*

*Cradle* ini sebenarnya adalah jembatan untuk penghubung getaran yang bersumber dari ketidak-seimbangan rotor berupa gerakan horisontal.



**Gambar 6.** *Cradle*

*Cradle* dirancang hanya bergerak secara horisontal sebagai penerusan dari gerakan getaran poros. Ini merupakan ciri *balancing machine* ini yaitu jenis *balancing machine* horisontal. Gerak osilasi horisontal ini yang diukur oleh sensor transduser.

#### *Lampu Stroboskop*

Jenis lampu stroboskop adalah lampu kilat xenon model U kurus. Stroboskop pada mesin *balancing* ini memiliki dua fungsi yaitu pertama untuk memeriksa kecepatan rotor apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan, disini terdapat 5 set kecepatan yaitu 8 Hz, 10 Hz, 12 Hz, 14 Hz, dan 16 Hz. Merupakan fungsi

internal bekerja dengan kendali dari pengaturan frekuensi pada kotak kendali. Fungsi kedua adalah fungsi *external trigger*, yaitu stroboskop akan menyala pada saat batang *cradle* berada pada *displacement maximum* yaitu saat tombol yang terletak di depan transduser tepat mengenai plat yang terhubung langsung dengan *cradle*.



**Gambar 7.** Lampu Stroboskop

#### *Belt dan puli*



**Gambar 8.** Belt dan puli

Belt berukuran lebar 1 cm ini menghubungkan motor, puli1, puli2, lalu ke rotor. Posisi puli 2 dan rotor vertikal lurus.

#### *Rotor*



**Gambar 9.** Rotor dengan 5 cakram

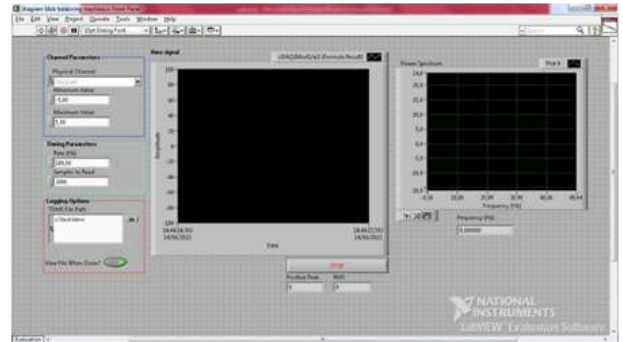
Rotor yang digunakan adalah rotor yang terdiri dari 5 cakram sebagai model rotor yang akan dipasangkan massa-massa *unbalance* pada 3 piringan tengahnya. Dua piringan pada setiap

ujungnya merupakan cakram bidang koreksi/penyeimbang dimana akan dipasang massa *counter-balancenya*.

#### *Pengembangan perangkat lunak.*

Program pembacaan data respons getaran akibat *unbalance* yaitu amplitudo maksimum menggunakan NI DAQ, modul NI 9234 dan software LabView 2010.

**Gambar 10.** Tampilan *Front Panel* Virtual Instrument LabView



2010

Kolom tengah merupakan grafik amplitudo kecepatan terhadap waktu, tepat di bawahnya merupakan indikator *zero to peak* dan *rms* dari amplitudo tersebut. Kolom sebelah kanan adalah grafik *magnitude* terhadap frekuensi frekuensinya.

Pada pemrograman diagram blok di LabView ada 6 daerah pembagian :

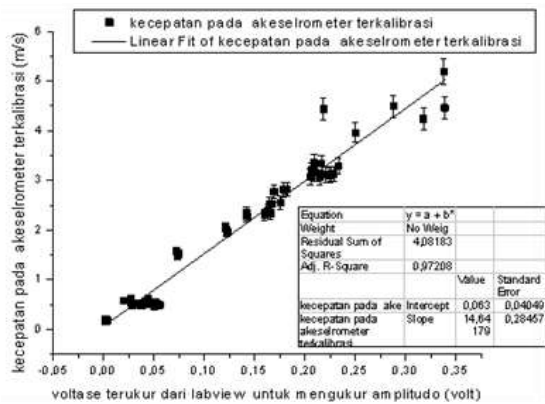
- 1) Blok untuk penentuan input yang masuk ke NI adalah parameter yang di set berupa *voltage*. Minimum dan maksimum *voltage* yang masuk juga diatur sebagai parameter yang diatur pada *front panel*.
- 2) Blok *Sample clock*: yaitu parameter *samples to read* dan frekuensi cara pengambilan data
- 3) Blok Fungsi *log and read*, dimana pengukuran akan ditampilkan dengan nomor 7 dan jika *error* maka akan muncul pesan *error no 8*
- 4) Blok untuk membaca input dari satu atau beberapa gelombang dan dari satu atau beberapa kanal (*channel*) yang berbeda
- 5) Blok grafik *time signal* dan grafik *power spectrum* yang muncul pada *front panel*. Sinyal amplitudo yang ditangkap diterjemahkan ke dalam data berupa nilai *zero to peak* (*positive peak*) dan *rms*.
- 6) Blok Fungsi indikator frekuensi *power spectrum* saat *magnitude* maksimum

#### *Penentuan Amplitudo*

Dengan menggunakan alat pengukur getaran terkalibrasi maka didapatkan data-data untuk dibandingkan dengan pengukuran *voltage* pada LabView, sehingga didapatkan persamaan kalibrasinya. Grafik dan persamaannya dapat dilihat pada grafik berikutnya. Dari grafik tersebut didapatkan faktor pengalinya dengan tingkat kepercayaan 97%. Pada diagram blok LabView ditambahkan fungsi



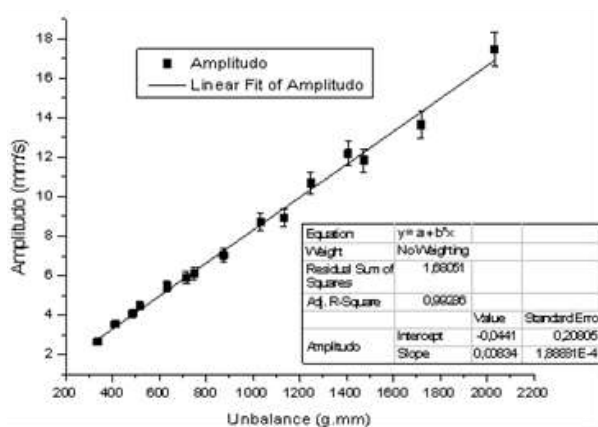
formula pengali. Pada formula juga dikalikan dengan 45/34 yaitu merupakan perbandingan panjang dari sumbu *cradle*. Posisi transduser ada di ujung 450 mm terhadap sumbu sedangkan sensor akselerometer *Vibscanner* terletak pada 340 mm terhadap sumbu *cradle*.



**Gambar 11.** Grafik kalibrasi amplitudo Labview dengan alat pengukur getaran terkalibrasi

#### Penentuan Massa Counter Balance.

*Unbalance* merupakan perkalian dari massa *unbalance* dan radius dan sebanding dengan besarnya amplitudo. Pengaruh *unbalance* (massa *unbalance* × jari-jari) seperti ditunjukkan pada grafik gambar 12.



**Gambar 12.** Grafik pengaruh besarnya *unbalance* terhadap besarnya amplitudo getaran

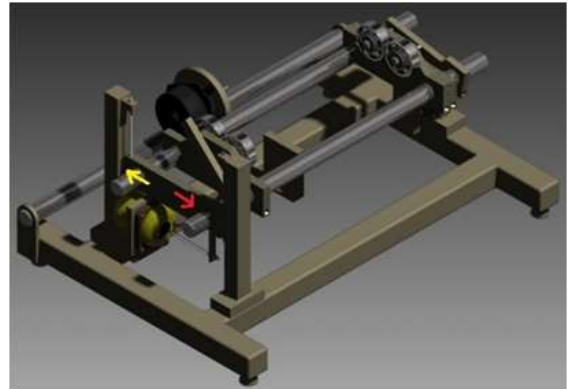
Variasi massa kali jari-jari digunakan dari 337,5 gram.milimeter sampai 2032,8 gram.milimeter. Variasi ini digunakan karena dalam percobaan akan digunakan variasi massa antara 8 gram sampai 31 gram dan dengan jarak yang terbatas oleh slot cakram koreksi dari jari-jari 45 mm sampai 65 mm. Dari grafik ini dapat disimpulkan pengaruh dari *unbalance* terhadap besarnya amplitudo yang terbaca merupakan garis lurus dengan tingkat kepercayaan 99%. Selain didapatkan pengaruhnya, juga didapatkan faktor pengali dari pengaruh *unbalance* terhadap amplitudo getaran. Grafik ini bisa digunakan untuk praktikum *balancing machine*

untuk mengetahui seberapa besar *unbalance*, yaitu massa *unbalance* × jari-jari dari amplitudo yang terbaca pada instrumentasi virtual LabView.

#### Penentuan Sudut Fase.

*Displacement* maksimum adalah saat *cradle* menyentuh knob sebagai *trigger* eksternal sehingga stroboskop menyala. Saat stroboskop menyala berarti bisa diartikan posisi dimana massa *unbalance* itu ada. *Displacement* maksimum adalah saat dimana massa *unbalance* berbeda fase dengan *displacement* sebesar 180° jika terlihat di bawah cahaya iluminasi lampu stroboskop.

**Gambar 13.** Pergerakan lokasi *high spot* dan *heavy spot* saat



disinari stroboskop pada frekuensi tertentu  
Warna kuning: arah massa *unbalance* (*total moment unbalance/ heavy spot*)

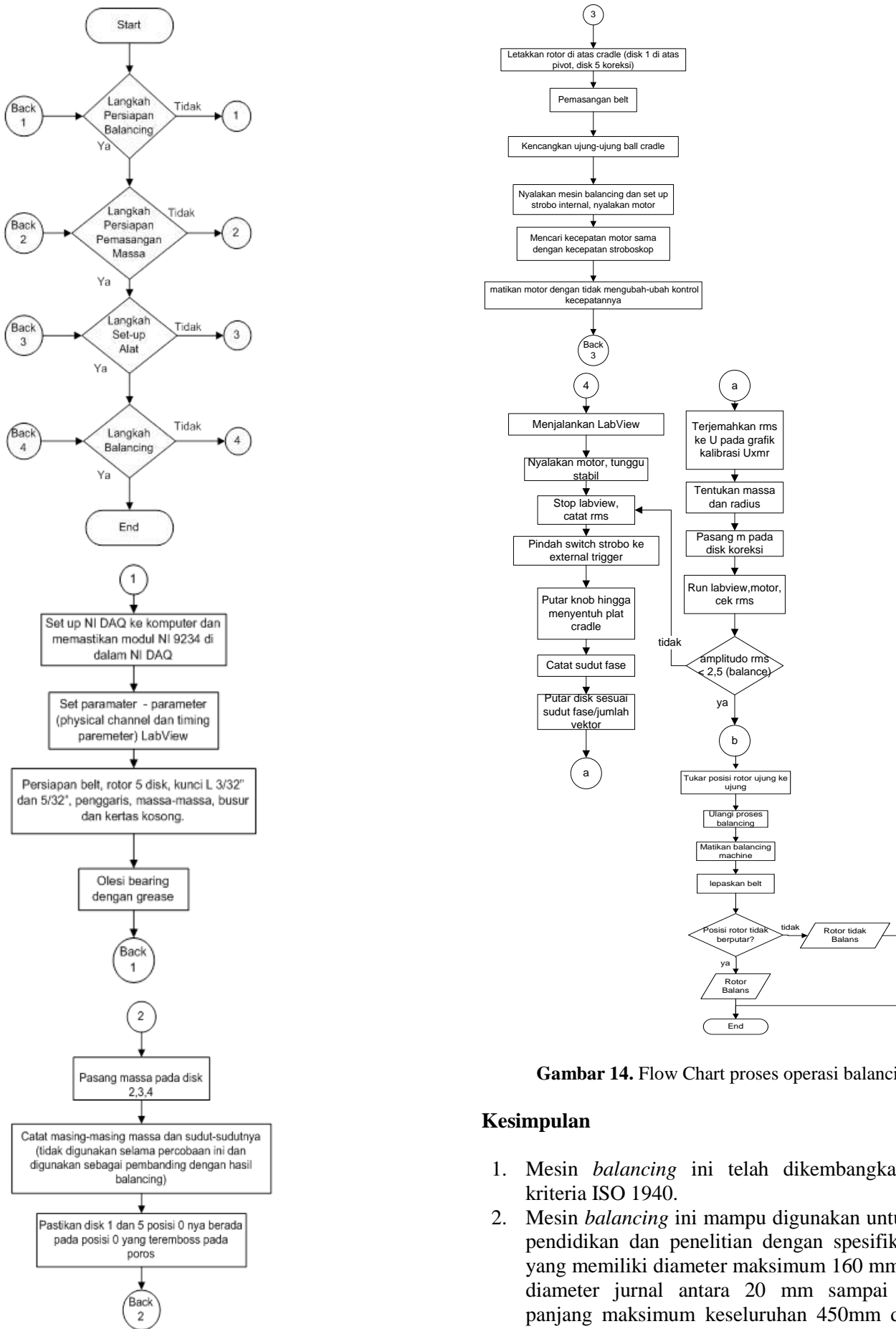
Warna merah: *displacement* maksimum (*high spot*)

Beda fase ini terjadi akibat beda fase antara *displacement* dengan akselerasi. Gaya yang ditimbulkan massa *unbalance* sebanding dengan akselerasinya. Massa koreksi dari pengukuran amplitudo dipasang pada sudut 180° dari lokasi *unbalance*-nya (*high spot*). Berdasarkan pengujian, posisi massa *counter-balance* mempunyai beda sudut fase 180° terhadap posisi massa *unbalance*-nya. Ketika dipasang massa 8 gram pada posisi referensi 0°, saat stroboskop menyala titik 0° selalu berada di seberang atau berkebalikan arah dengan arah dan posisi *displacement* maksimum. Massa 8 gram ini kemudian diubah-ubah posisinya dan posisi sudut fase dari yang teriluminasi oleh cahaya lampu stroboskop adalah *displacement* maksimumnya yang selalu berkebalikan dengan posisi massa yang dipasang tersebut.

#### Hasil Percobaan

Pada beberapa eksperimen yang dilakukan pada mesin *balancing* yang dikembangkan ini, ternyata kemampuannya dapat membalans dengan *residual unbalance* kurang dari 1 g.mm. Kinerja ini merupakan prestasi yang sangat baik untuk membalans sebuah rotor sesuai dengan kriteria kualitas dengan batasan *residual unbalance* yang tertera pada ISO 1940.

Langkah langkah menyeimbangkan (*Balancing*).



Gambar 14. Flow Chart proses operasi balancing

**Kesimpulan**

1. Mesin *balancing* ini telah dikembangkan sesuai kriteria ISO 1940.
2. Mesin *balancing* ini mampu digunakan untuk tujuan pendidikan dan penelitian dengan spesifikasi rotor yang memiliki diameter maksimum 160 mm, dengan diameter jurnal antara 20 mm sampai 150mm, panjang maksimum keseluruhan 450mm dan berat maksimum 70N.
3. Proses *balancing* dilakukan dengan instrumentasi

virtual dan analisis vektor.

4. Peralatan tua kadangkala masih bisa direvitalisasi kembali, tergantung dari kemauan dan kreativitas pengelolanya serta kondisi dari peralatannya.

## Referensi

- [1]. B. McMillan, Robert. (2004). Rotating machinery: practical solutions to unbalance and misalignment. US : The Fairmont Press, Inc.
- [2]. Dennis H. Shreve, FIELD ANALYSIS AND BALANCING TOOLS. IRD®Balancing.
- [3]. Norfield, Derek. (2006). Practical Balancing of Rotating Machinery. United Kingdom: Elsevier Ltd.
- [4]. Smith, Steven. The Balancing Act: Balance the design or design for balance?. UK: Vibration Free.
- [5]. Balance Quality Requirements of Rigid Rotors, The Practical Application of ISO 1940/1. IRD Balancing.
- [6]. <http://www.turbomachinerymag.com/blog/blog-category/turbomachinery-fundamentals,16-06-2013>
- [7]. Pitsoulisa, Leonidas S. Pardalosb, Panos M. Hearnb, Donald W. Approximate solutions to the turbine balancing problem. European Journal of Operational Research.
- [8]. H. Shreve, Dennis. (1994). Introduction To Vibration Technology. Ohio: IRD Mechanalysis, Inc.
- [9]. Stadelbauer, Douglas G. BALANCING OF ROTATING MACHINERY, CHAPTER 39, PART I
- [10]. <http://www.lifetime-reliability.com/store/machinery-maintenance-and-inspection/store-machinery-maintenance.html>, 21-03-2013
- [11]. ISO 1940-1:2003(E), Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state — Part 1: Specification and verification of balance tolerances. (2005). Switzerland: International Organization for Standardization.
- [12]. ISO 1940-2, Mechanical vibration - Balance quality requirements of rigid rotors -Part 2: Balance errors. (1986). Switzerland: International Organization for Standardization.
- [13]. ISO 2953 : 1999, Mechanical vibration —Balancing Machines—Description and Evaluation.(1999). Switzerland: International Organization for Standardization.
- [14]. ISO 1925 : 2001, Mechanical vibration —BalancingVocabulary. (2001). Switzerland: International Organization for Standardization.
- [15]. ISO 8821 : 1989(E), Mechanical vibration — Balancing Machines—Shaft and fitment keys convention. (1989). Switzerland: International Organization for Standardization.
- [16]. Slide Pelatihan Balancing. (2002). PT. Putranata Adi Mandiri – sole agent Prüftechnik AG, Germany.
- [17]. Modul Mata Kuliah Getaran Mekanis – Balancing. DTM FTUI.
- [18]. Technical Bulletin: PERMISSIBLE RESIDUAL UNBALANCE. (2001). Kruger.
- [19]. Field Balancing Large Rotating Machinery. (1983). US : Power O&M Bulletin.
- [20]. Al-Shurafa, Ali M. (2003). Determination of Balancing Quality Limits.
- [21]. Foiles; Allaire; Gunter. (1998). Review: Rotor Balancing. US : University of Virginia.
- [22]. <http://www.scribd.com/doc/51479809/balancing-of-rotors>. 11-03-2013
- [23]. Randall L. Fox, Dynamic Balancing. IRD Mech. Analysis.
- [24]. Dennis H. Shreve. (1995). Vibration Analysis: Fundamentals. P/PM Technology.
- [25]. John S. Mitchell. (1981, 1993). Machinery Analysis and Monitoring. Penwell Publishing Co.
- [26]. IRD Mechanalysis. (October 1990). Dynamic Balancing Handbook.
- [27]. R. Keith Mobley. (1999). Vibration Fundamentals. Newnes.
- [28]. Victor Wowk. (1995). Machinery Vibration: Balancing. McGraw-Hill.