

PERHITUNGAN DAYA MOTOR PENGGERAK RANTAI KONVEYOR PADA IRADIATOR GAMMA BATAN 2X250 KCURIE

Ari Satmoko¹, Syamsurrijal Ramdja dan Sutomo Budihardjo¹

¹Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan Puspiptek Gd. 71, Tangerang Selatan, 15313

ABSTRAK

PERHITUNGAN DAYA MOTOR PENGGERAK RANTAI KONVEYOR PADA IRADIATOR GAMMA BATAN 2X250 KCURIE. Saat ini, sebuah irradiator gamma BATAN 2x250 kCurie untuk pengawetan produk pertanian sedang dalam proses desain. Instalasi ini dilengkapi dengan sumber gamma berkekuatan 2x250 kCurie. Produk-produk pertanian dimasukkan dalam carrier dan carrier ini digantungkan pada rantai konveyor yang berjalan mengikuti lintasannya memasuki ruang iradiasi. Rantai konveyor digerakkan oleh motor. Dalam rangka menentukan daya motor inilah, perhitungan dilakukan. Setelah persamaan kesetimbangan gaya dikembangkan, akhirnya berhasil diperoleh gaya dan daya motor yang dibutuhkan untuk menarik rantai konveyor. Pemecahan persamaan kesetimbangan gaya dilakukan dengan metode numerik menggunakan bahasa VBasic. Hasil perhitungan menunjukkan hubungan antara koefisien gesekan dengan daya motor. Dari hasil evaluasi diputuskan bahwa koefisien gesekan pada rantai konveyor tidak boleh melebihi 0,015. Dengan gesekan seperti ini maka daya motor yang dibutuhkan adalah 3,13 kWatt. Dari evaluasi juga diperoleh bahwa lintasan tikungan tidak boleh terlalu kecil. Kombinasi gesekan yang besar dan radius tikungan yang terlalu kecil dapat mengakibatkan kondisi locked di mana sebarangapun besar daya motor tidak akan dapat menggerakkan rantai konveyor.

Kata kunci: irradiator, rantai konveyor, gesekan, daya motor, perhitungan

ABSTRACT

MOTOR POWER CALCULATION FOR DRIVING CONVEYOR CHAIN IN GAMMA IRRADIATOR BATAN 2X250 KCURIE. Recently, an IRRADIATOR BATAN 2X250 kCurie for agricultural product is under design. The installation is provided by the gamma source about 2x250 kCurie. Agricultural products are carried into carriers and these carriers are hanged on the conveyor chain. The chain moves into a radiation chamber following the trajectoire. The chain is driven by motor. For this reason, the calculation is performed to determine the motor power. After resolving the force equilibrium equation, the force and power of the motor needed to drive the chain are obtained. Numerical method by using VBasic language is used to resolve the equation. The calculation result shows the correlation between friction coefficient and motor power. From the evaluation, it is decided that the friction coefficient should be less than 0,015. By this friction, the motor power is about 3.13 kWatt. From the evaluation, it is also obtained that the radius of the curve trajectoire shall not be too small. Combination between high friction and small curve radius could lead to the locked condition in which high power motor are not be able to move the conveyor chain.

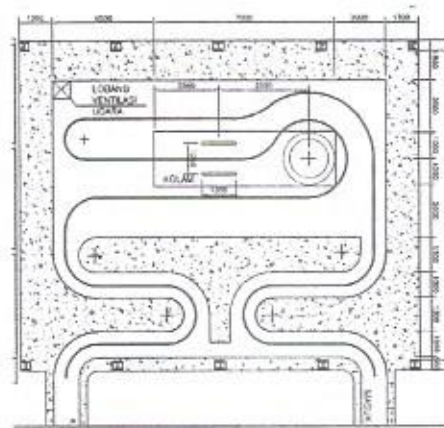
Keywords: irradiator, conveyor chain, friction, motor power, calculation

1. PENDAHULUAN

Rancang bangun desain dasar instalasi iradiator gamma BATAN 2x250 kCi, dirancang untuk proses pengawetan bahan pangan dan atau hasil pertanian menggunakan sumber radioaktif Cobalt-60 tipe pensil dengan aktivitas 2 x 250 kCi atau 500 kCi^[1]. Desain ini dibuat, dengan harapan dapat dibangun di lokasi dekat dengan sumber penghasil bahan pangan dan atau hasil pertanian atau di daerah yang memungkinkan dioperasikan suatu instalasi iradiator gamma yang ditentukan oleh instansi yang akan membangun. Dengan meningkatkan kandungan lokal serta menggunakan sumberdaya manusia dan fasilitas yang ada di BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional), diharapkan biaya yang dibutuhkan untuk membangun fasilitas iradiator gamma ini, dapat lebih ekonomis dengan tidak mengurangi faktor keselamatan.

Ketika produk pertanian akan diiradiasi, produk tersebut disusun dalam *tote-tote* yang kemudian dimasukkan dalam rak *carrier*. Dengan bantuan rantai konveyor seperti pada Gambar 1, *carrier* mengikuti lintasan rantai melalui medan radiasi gamma sehingga produk pertanian mengalami proses irradiasi.

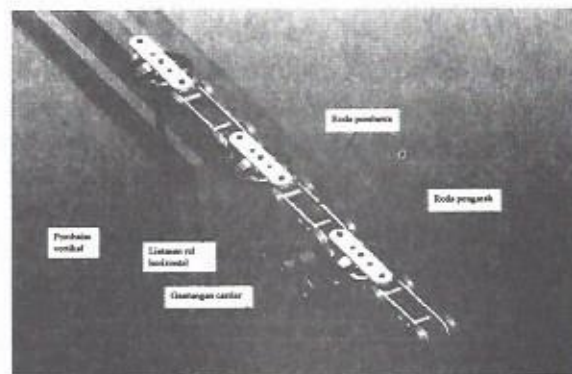
Ketika rantai konveyor digerakkan maka akan terjadi gesekan baik pada bidang horizontal dasar ataupun ketika rantai menyentuh dinding pembatas di saat berada pada lokasi tikungan. Penggerak rantai ini adalah motor yang harus sanggup melawan gaya gesekan yang timbul. Dalam rangka inilah, makalah ini membahas perhitungan daya motor yang akan digunakan dalam instalasi iradiator gamma BATAN 2x250 kCi.



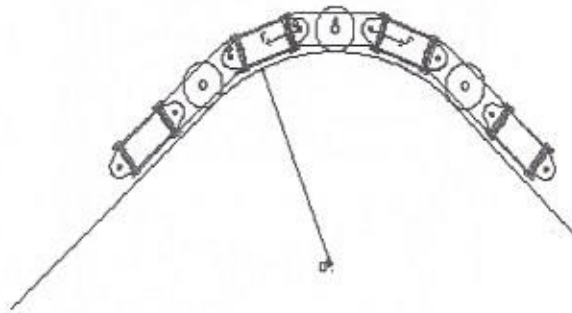
Gambar 1. Bentuk lintasan rantai konveyor^[1]

2. TEORI

Rantai konveyor digunakan untuk menggerakkan *carrier* yang didalamnya terdapat produk-produk hasil pertanian yang akan diiradiasi. Bentuk rantai bermacam-macam, namun yang akan digunakan dalam iradiator Gamma BATAN 2x250 kCi adalah rantai konveyor seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Ilustrasi ketika rantai konveyor ini melintasi tikungan ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 2. Rantai konveyor



Gambar 3. Rantai konveyor dalam lintasan tikungan

3. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE) RANCANGAN

Evaluasi daya motor dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa persyaratan berikut:

- lintasan rantai konveyor mengacu pada desain pendahuluan yang telah dihasilkan dari kegiatan tahun 2009^[1]
- berdasarkan informasi dari Kelompok Proses, jumlah *carrier* yang menggantung pada rantai konveyor adalah 19 buah dengan jumlah *carrier* yang bergerak secara bersamaan adalah 9. Namun demikian mengingat kemungkinan perubahan pengoperasian di masa mendatang, untuk perhitungan daya motor penggerak sistem rantai, jumlah *carrier* yang bergerak dianggap sama dengan 19 *carrier*.
- Masing-masing *carrier* terisi beban maksimum 1000 kg.

Perhitungan daya motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan rantai konveyor dilakukan melalui beberapa tahap yaitu:

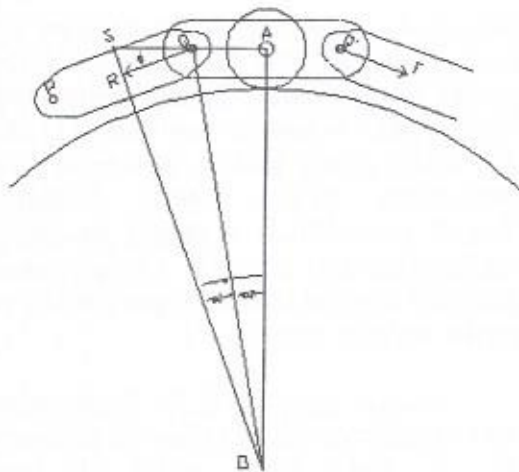
- mengevaluasi desain pendahuluan rantai konveyor dan lintasan
- mengembangkan persamaan geometri untuk lintasan tikungan
- mengembangkan persamaan-persamaan gaya
- memecahkan persamaan gaya menggunakan pemrograman komputer
- mengevaluasi hasil
- menentukan beberapa parameter untuk desain motor

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

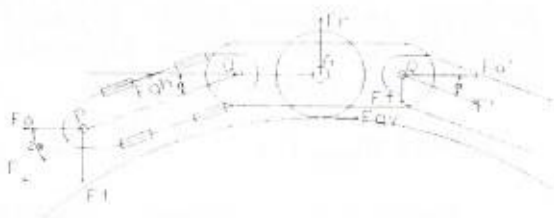
Ketika produk pertanian akan diiradiasi, produk tersebut disusun dalam tote-tote yang kemudian dimasukkan dalam rak *carrier*. Dengan bantuan rantai konveyor, *carrier* mengikuti lintasan rantai melalui ruang sumber gamma sehingga produk pertanian mengalami proses irradiasi. Rantai konveyor terdiri dari dua bagian komponen utama: bagian pembawa dan bagian pengarah. Bagian pembawa berfungsi untuk menahan beban *carrier* dan sekaligus menggerakkan *carrier*. Bagian pengarah berfungsi untuk menjaga rantai konveyor pada jalur rel sesuai lintasan. Bagian ini terdiri dari roda pengarah untuk membelokkan rantai bila menemui suatu lintasan tikungan.

Ketika rantai konveyor bergerak, terdapat dua jenis gesekan yang muncul: gesekan roda pembawa terhadap dasar lintasan dan gesekan roda pengarah terhadap dinding pembatas vertikal pada lokasi tikungan. Perhitungan gesekan roda pengarah dilakukan dengan mengevaluasi Gambar 4a dan 4b.

Dengan mengisolir satu set rantai berupa roda pengarah dan roda pembawa, ketika rantai bergerak ke arah kiri maka gaya-gaya yang timbul ditunjukkan dalam Gambar 4b. F_r adalah gaya normal yang diberikan oleh lintasan tikungan terhadap roda pengarah. Pada titik P terdapat gaya F yang merupakan gaya tarik dari komponen rantai di depannya. Sedangkan F_a dan F_t adalah gaya-gaya proyeksi dari gaya F dalam sumbu horizontal dan vertikal. Pada titik Q', terdapat F' , F'_t dan F'_a yang merupakan gaya-gaya yang bekerja pada komponen rantai berikutnya. F_{gv} adalah gaya gesekan antara roda pengarah dengan dinding pembatas lintasan vertikal. Sementara F_{gh} adalah gaya gesekan yang terjadi pada roda pembawa. Meski roda ini terdiri dari empat buah, dalam perhitungan gaya F_{gh} mewakili gesekan untuk ke-empat roda.



Gambar 4a. Rantai konveyor di lintasan tikungan



Gambar 4b.

Gambar 4b. Isolasi gaya pada satu set rantai

Besarnya gaya gesekan F_{gv} bergantung pada besarnya gaya normal F_r dan gaya ini juga bergantung pada F_t dan F'_t yang merupakan proyeksi gaya F dan F' dalam sumbu vertikal. Besarnya F_t bergantung pada sudut α yang juga bergantung pada jari-jari tikungan.

Sebelum mengembangkan persamaan gaya-gaya, korelasi antara sudut α dengan geometri lintasan harus diketahui terlebih dahulu. Besarnya sudut α diperoleh dengan mengembangkan model-model matematika berikut ini. Dalam Gambar 4a, ΔAOS sebangun dengan ΔRQS sehingga:

$$\alpha = \angle SOA = \angle SQR \quad (1)$$

Dengan demikian:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \arctan(AQ/AO) \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \arctan(QR/OR) \quad (3b)$$

$$OR = (AO^2 - AQ^2)^{1/2} \quad (4)$$

dengan AQ adalah jarak antara pusat roda pengarah dengan pusat pin rantai, AO adalah jari-jari tikungan dan QR adalah jarak antara pusat roda pembawa dengan titik pusat pin rantai. Dengan menetapkan ukuran rantai konveyor dan juga jari-jari lintasan, maka panjang AQ , AO , OQ dan QR diketahui. Dengan demikian sudut α_1 , α_2 dan α dapat dihitung.

Selanjutnya gaya F_t dan F_r dapat dihitung dengan Pers. (5 dan 6).

$$F_t = F_a \tan 2\alpha \quad (5)$$

$$F_r = F_a \tan \alpha \quad (6)$$

Sedangkan gaya F_r dapat dihitung dengan berasumsi adanya kesetimbangan gaya vertikal sebagai berikut:

$$F_r = F_t + F_r - F_{gh} \sin \alpha \quad (7)$$

Gaya gesekan (F_{gv}) diberikan oleh Pers. (8) dan dengan memasukkan Pers. (5-7) diperoleh:

$$F_{gv} = \mu F_r \quad (8)$$

$$\Leftrightarrow F_{gv} = \mu (F_a \tan 2\alpha + F_a \tan \alpha - F_{gh} \sin \alpha)$$

Ketika rantai bergerak dengan kecepatan konstan, terjadi kesetimbangan gaya dalam arah horizontal (Pers. (10)). Gaya F_a diimbangi oleh gaya-gaya gesekan dan gaya penahan ke arah kanan.

$$F_a = F_{a'} + F_{gv} + F_{gh} \cos \alpha \quad (10)$$

$$\Leftrightarrow F_a = F_{a'} + \mu (F_a \tan 2\alpha + F_a \tan \alpha - F_{gh} \sin \alpha) + F_{gh} \cos \alpha$$

$$\Leftrightarrow F_a (1 - \mu \tan 2\alpha) = F_{a'} (1 + \mu \tan \alpha) + F_{gh} \cos \alpha - \mu F_{gh} \sin \alpha$$

$$\Leftrightarrow F_a = \frac{F_{a'} (1 + \mu \tan \alpha) + F_{gh} (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{(1 - \mu \tan 2\alpha)}$$

$$\Leftrightarrow F_a = \frac{F_{a'} (1 + \mu \tan \alpha) + F_{gh} (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{(1 - \mu \tan 2\alpha)} \quad (1)$$

Untuk roda pembawa, besarnya gaya gesekan (F_{gh}) bergantung pada koefisien gesekan (μ), massa rantai (m_{rantai}) dan, bila ada, massa *carrier*

($m_{carrier}$) yang digerakkan seperti ditunjukkan dalam Pers. (12).

$$F_{gh} = \mu (m_{rantai} + m_{carrier}) g \quad (12)$$

dengan g adalah percepatan gravitasi sebesar $9,8 \text{ m/det}^2$.

Dari Pers. (11), kasus yang harus diwaspadai adalah kasus dengan penyebut bernilai mendekati nol. Nilai ini dapat tercapai bila nilai $\mu \tan(2\alpha)$ mendekati 1. Dalam hal ini, gaya yang dibutuhkan untuk menarik rantai menjadi besar sekali (tak terhingga). Di sini terjadi kasus *locked* atau "terkunci", yang berarti sebarang besar gaya tarik motor tidak akan sanggup menggerakkan rantai. Kasus *locked* dapat dihindari dengan memperkecil koefisien gesekan dan sudut α . Dan, sudut α dapat diperkecil dengan cara memperbesar radius tikungan.

Gaya F_a adalah gaya proyeksi terhadap bidang horizontal. Sedangkan, gaya tarik rantai F diberikan oleh Pers. (13).

$$F = F_a / \cos 2\alpha$$

Pers. (11-13) berlaku untuk setiap set rantai yang terdiri dari roda pembawa dan roda pengarah. Padahal rantai konveyor terdiri dari ratusan set rantai. Penyelesaian analitik persamaan ini tidak mudah dipecahkan. Namun persamaan-persamaan tersebut dapat dengan mudah dipecahkan dengan menggunakan metode numerik.

Pemecahan dengan metode numerik dilakukan dengan langkah-langkah berikut. Rantai konveyor membentuk gelang melingkar tanpa putus. Untuk memecahkan permasalahan tersebut, rantai dianggap sebagai sebuah untai terbuka dengan ujung kiri ditarik oleh motor dan ujung kanan dianggap terputus. Meskipun untai bersifat terbuka, namun bentuk lintasan mengikuti bentuk lintasan sebenarnya dengan tetap mempertimbangkan efek tikungan.

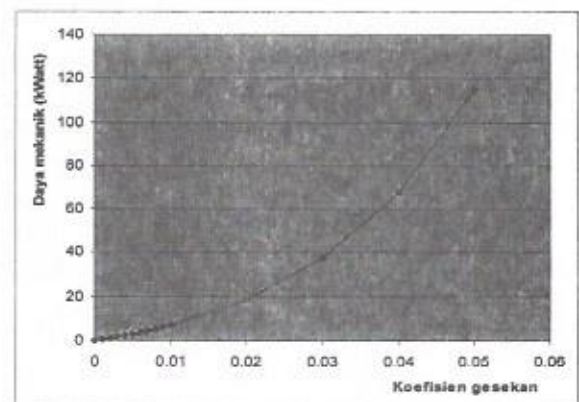
Pemecahan numerik dimulai untuk satu set rantai paling belakang (ujung sebelah kanan). Karena dianggap paling belakang maka tidak ada gaya F_a . Dengan mudah Pers. (11 dan 13) dipecahkan untuk mendapatkan F_a dan F . Setelah terselesaikan, tahap berikutnya adalah memecahkan satu set rantai di depannya.

Kali ini F_a tidak lagi sama dengan nol, namun memiliki nilai sama dengan F dari rantai sebelumnya. Tahap selanjutnya identik yaitu memecahkan Pers. (11 dan 13) untuk rantai ke-tiga, ke-empat, dan seterusnya hingga rantai terdepan. Teknik pemecahan masalah ini hanya memungkinkan apabila menggunakan program komputer mengingat jumlah set rantai berkisar ratusan.

Ketika gaya tarik F terpecahkan dan kecepatan rantai konveyor diketahui (V_{rantai}), maka daya motor (P) yang dibutuhkan untuk menarik rantai konveyor dapat dihitung dengan Pers. (14). Kecepatan operasional rantai konveyor penggerak *carrier* adalah 7 m/menit . Di dalam desain, kecepatan rantai ditetapkan pada 10 m/menit .

$$P = F V_{rantai} \quad (14)$$

Pemecahan dengan metode numerik telah dilakukan dengan mengembangkan pemrograman VBasic⁽¹³⁾. Sebagian pemrograman, terutama terkait dengan proses pemecahan Pers. (11), ditunjukkan dalam Lampiran 1. Lembar eksekusi ditunjukkan dalam Lampiran 2. Program tersebut dieksekusi dengan memasukkan berbagai nilai koefisien gesekan. Hasil eksekusi ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh koefisien gesekan pada daya motor

Dari kurva terlihat bahwa koefisien gesekan sangat berpengaruh pada daya motor yang dibutuhkan untuk menarik rantai konveyor. Apabila gesekan di atas 0,02 maka daya motor yang dibutuhkan mendekati 20 kWatt. Untuk desain selanjutnya, koefisien gesekan sebesar 0,006 dianggap sebagai angka ideal. Dengan nilai ini, maka daya motor yang dibutuhkan adalah 3,71 kWatt. Nilai koefisien gesekan yang kecil ini, dapat diperoleh dengan melengkapi rantai konveyor dengan *bearing* baik untuk gesekan roda pembawa maupun roda pengarah^[3]. Dan untuk menghindari kasus *locked*, radius tikungan juga tidak boleh kecil. Dari pengalaman mengeksekusi program VBasic, radius belokan sebesar 800 mm sudah dianggap cukup.

5. KESIMPULAN.

Telah dilakukan perhitungan untuk menentukan daya motor penggerak rantai konveyor pada instalasi irradiator BATAN 2x250 kCurie. Kegiatan diawali dengan mempelajari geometri lintasan rantai. Daya motor harus dapat melawan gaya gesekan yang timbul pada rantai. Setelah persamaan kesetimbangan gaya dikembangkan, akhirnya berhasil diperoleh gaya yang dibutuhkan untuk menarik rantai konveyor. Dengan diketahui kecepatan desain rantai konveyor, maka daya motor yang diperlukan dapat dihitung. Pemecahan persamaan kesetimbangan gaya dilakukan

dengan metode numerik menggunakan bahasa VBasic. Hasil perhitungan menunjukkan hubungan antara koefisien gesekan dengan daya motor yang dibutuhkan. Dari hasil evaluasi diputuskan bahwa koefisien gesekan pada rantai konveyor tidak boleh melebihi 0,015. Dengan gesekan seperti ini maka daya motor yang dibutuhkan adalah 3,13 kWatt. Dari evaluasi juga diperoleh bahwa radius lintasan tikungan tidak boleh terlalu kecil. Kombinasi gesekan yang besar dan radius tikungan yang terlalu kecil dapat mengakibatkan kondisi *locked* di mana sebarang besar daya motor tidak akan dapat menggerakkan rantai konveyor.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. SUTOMO B., Rancang Bangun Disain dasar Irradiator Gamma Batan 2x250 kCi untuk Pengawetan Hasil Pertanian, PRPN-BATAN, BATAN-RPN-T-2009-01-036, 2009
2. NIEMANN G., Elemen Mesin I, Edisi kedua, Penerbit Erlangga 1994
3. SUBARI dan YUSWANTO, Panduan Lengkap Pemrograman Visual Basic 6.0, Cerdas Pustaka Publisher, Cetakan pertama, Agustus 2008

7. LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh sebagian pemrograman dengan VBasic

```

(General) (Declarations)
pjq_OO = Sqr(pjq_AO ^ 2 + pjq_AQ ^ 2)
pjq_OR = Sqr(pjq_OO ^ 2 - pjq_OR ^ 2)
tetalrad = Atn(pjq_OR / pjq_OR)
tetalrad = Atn(pjq_AQ / pjq_AO)
tetaldeg = tetalrad * 180 / 3.14159265359
teta2deg = tetalrad * 180 / 3.14159265359
teta2deg = tetaldeg + tetaldeg
teta_red = tetalrad + tetalrad
tikung_tetaldeg(11) = tetaldeg
tikung_teta2deg(14) = tetaldeg
tikung_alpha(11) = teta_red
pjq_lengkung = tikung_keliling(11) + pjq_sisa
jumlah_kontak_real = pjq_lengkung / pjq_lrental
jum_rantai = CInt(jumlah_kontak_real)
alpha = teta_red
If jum_rantai >= 1 Then
For j) = 1 To jum_rantai
    jml_carrier_beban = jml_carrier_beban + 1
    jml_psg_rantai = jml_psg_rantai + 1
    If ((jml_psg_rantai Mod pembagi = 1) And (jml_carrier_beban < jml_carrier)) Then
        If (jml_psg_rantai = 1) Then
            Fgh = Fgh_carrier + Fgh_rantai
            jml_carrier_beban = jml_carrier_beban + 1
            Fgh = Fgh_ujung
        Else
            Fgh = Fgh_rantai
        End If
        Fknan = FFFF * Cos(alpha)
        kompon01 = Fknan * (1f + koef_mu * Tan(alpha))
        kompon02 = Fgh * (Cos(alpha) - koef_mu * Sin(alpha))
        kompon03 = (1f - koef_mu * Tan(alpha))
        Fkiri = (kompon01 + kompon02) / kompon03
        FFFF = Fkiri / Cos(2 * alpha)
        Fknan = Fkiri
    MsgBox ("Fkiri lengkung : " & Fkiri & " ")
Next
End If
    
```

Lampiran 2. Lembar eksekusi pemrograman VBasic

Form1

Rantai pengarah

Panjang PQ (m) Panjang QQ (m)

Massa Pq Massa Qq

Amplitudo

Tiang	Radius (mm)	Sudut (deg)	1200
Tiang 1	180	180	600
Tiang 2	2000	45	90
Tiang 3	950	90	1000
Tiang 4	1000	90	10000
Tiang 5	1150	180	2000
Tiang 6	1150	90	2000
Tiang 7	2500	135	4300
Tiang 8	3000	45	0
Tiang 9	1000	180	5000
Tiang 10	3000	45	5000
Tiang 11	1500	225	0
Tiang 12	1150	90	1000
Tiang 13	1150	90	1300
Tiang 14	1150	180	2000
Tiang 15	1000	90	2000
Tiang 16	1000	90	10000
Tiang 17	2000	45	9000
Tiang 18	2000	45	600
Tiang 19	1000	180	not used
Tiang 20	not used	not used	

Kelembapan pelek:

Massa gelas:

Jumlah gelas:

Ket. tarik (N/mm):

Hasil perhitungan

Jumlah pasangan rantai:

Panjang total rantai:

Massa total rantai (kg):

Massa total rantai (N):

Gaya tarik rantai (N):

Gaya rekursif (Watt):