

PENENTUAN SPESIFIKASI TEKNIS KOMPONEN-KOMPONEN UTAMA PADA BAGIAN MEKANIK MASUK-KELUAR BOX CAR DARI RUANG IRADIASI PADA INSTALASI IRADIATOR GAMMA 200 KCi

Ari Satmoko, Petrus Zacharias, dan Budi Santoso
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PENENTUAN SPESIFIKASI TEKNIS KOMPONEN-KOMPONEN UTAMA PADA BAGIAN MEKANIK MASUK-KELUAR TOTE DARI RUANG IRADIASI PADA INSTALASI IRADIATOR GAMMA 200 KCi. *Irradiator gamma 200 KCi dirancang untuk proses pengawetan bahan pangan menggunakan sumber radioaktif Cobalt-60. Desain irradiator mengacu pada jenis irradiator yang dikembangkan oleh Izotop Hungaria. Salah satu karakteristik dari irradiator jenis ini adalah pintu masuk dan keluar produk melalui sebuah pintu tunggal. Ketika produk akan diiradiasi, produk tersebut disusun dalam tote-tote. Selanjutnya tote-tote ini dimasukkan ke dalam ruang iradiasi dengan diangkat oleh box car. Di dalam ruang iradiasi, tote-tote bergeser mendekati dan menjauhi sumber isotop Cobalt-60. Selesai iradiasi, tote kembali diangkat oleh box car melalui jalur yang sama. Proses masuk-keluar box car inilah yang menjadi bahasan dalam makalah ini. Pembahasan bertujuan untuk menentukan spesifikasi teknis untuk komponen-komponen utama. Kegiatan diawali dengan mempelajari geometri lintasan rantai. Selanjutnya persamaan gaya dikembangkan dan diselesaikan. Dengan diperolehnya gaya yang dibutuhkan untuk menarik rantai, beberapa spesifikasi komponen utama berhasil diidentifikasi seperti motor, rantai, sproket dan gearbox. Berdasarkan perhitungan daya motor minimum adalah 1 HP. Rantai telah diidentifikasi dengan spesifikasi nomor rantai 40. Sproket terdiri dari dua jenis. Jenis pertama adalah sproket yang dipasang langsung pada motor dengan jumlah gigi 40. Sedangkan jenis lainnya adalah sproket 12 gigi yang berjumlah 103 buah. Untuk gearbox, rasio penurunan kecepatan yang ditetapkan adalah 1:96.*

Kata kunci: irradiator, penentuan spesifikasi teknis, komponen mekanik, perhitungan

ABSTRACT

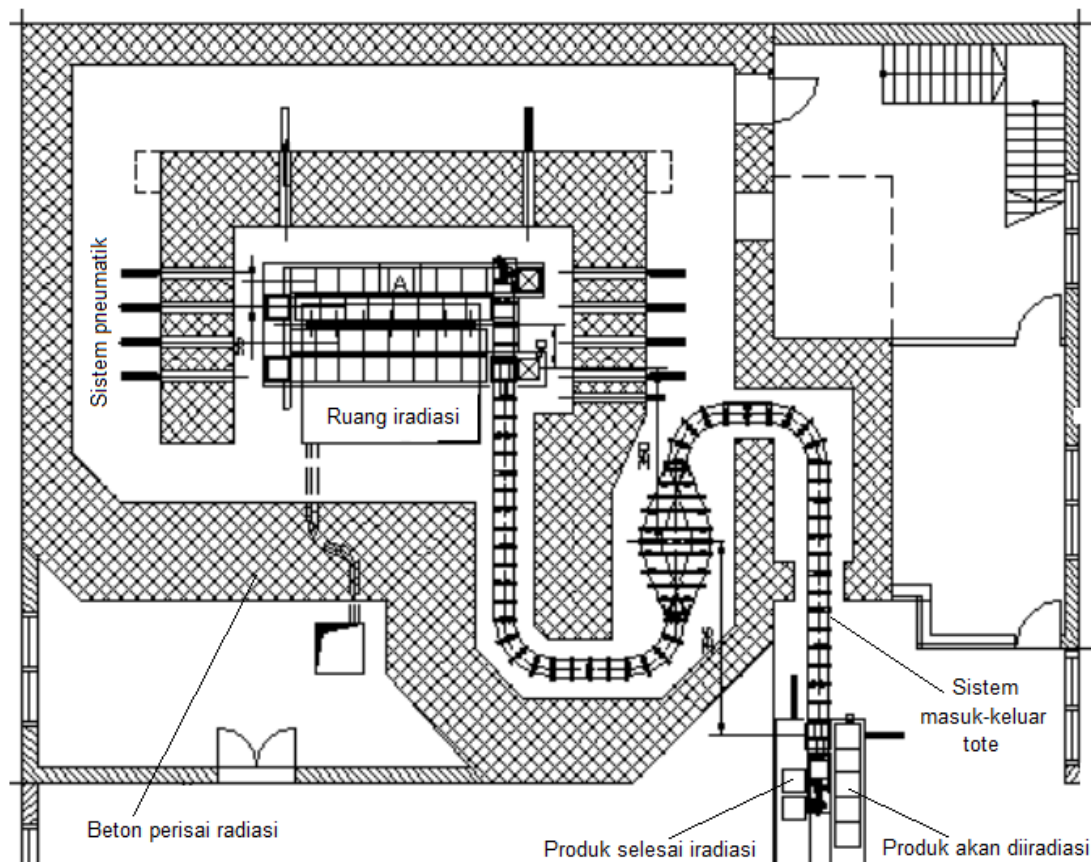
DETERMINATION OF TECHNICAL SPECIFICATIONS FOR MAIN COMPONENTS IN THE MECHANICAL LOADING-UNLOADING TOTE FROM IRRADIATION ROOM ON THE 200 KCi GAMMA IRRADIATOR. *The Gamma irradiators 200 kci is designed for food preservation process. The irradiator uses radioactive Cobalt-60 sources. Its design refers to the type that is developed by Izotop Hungary. One of the characteristics of this type is that the entrance and the exit are through a single door. When the products to be irradiated, the products are prepared in totes. Furthermore, these totes, transported by a box car, go into the irradiation room. In the room, totes are moved closer to and away from Cobalt-60 isotope sources. After irradiation, these totes go out transported by the box car through the same pathway. In this paper, the process of box car going into and out from the irradiation room is discussed. The discussion aims to define the technical specifications for major components. It begins with studying the geometry of the track chain. Furthermore, force equations are developed and resolved. By obtaining the force required to pull the chain, some specifications of the major components were identified as motors, chain, sprocket and gearbox. Based on the calculation, the minimum motor power is 1 HP. Chain has been identified with the specification number 40. Chain sprocket consists of two types. The first type is a sprocket that is mounted directly on the motor with the number of teeth 40. The other type is a 12 teeth sprocket which amounted to 103 pieces. For gearboxes, the speed reduction ratio is set to 1:96.*

Keywords: irradiator, determining technical specifications, mechanical components, calculation

1. PENDAHULUAN

Instalasi iradiator gamma BATAN 200 KCi dirancang untuk proses pengawetan bahan pangan dan atau hasil pertanian menggunakan sumber radioaktif Cobalt-60 tipe pensil^[1]. Desain iradiator mengacu pada iradiator Izotop, yakni sebuah iradiator yang dikembangkan oleh Izotop Hungaria (lihat Gambar 1)^[2]. Bangunan beton dengan tebal lebih dari 1,5 m digunakan sebagai *shielding* untuk melokalisir paparan radiasi. Instalasi iradiator dilengkapi dengan kolam air dengan kedalaman 6 m untuk menyimpan sumber Cobalt-60 pada saat tidak digunakan. Pada waktu beroperasi, sumber isotop diangkat ke atas permukaan kolam dan produk yang akan diiradiasi didekatkan ke sumber isotop tersebut.

Salah satu karakteristik dari iradiator jenis ini adalah pintu masuk dan keluar poduk melalui sebuah pintu tunggal. Ketika produk pertanian akan diiradiasi, produk tersebut disusun dalam *tote-tote*. Selanjutnya *tote-tote* ini dimasukkan ke dalam ruang iradiasi menggunakan *box car*^[2]. *Box car* inilah yang menjadi sarana transportasi *tote* untuk masuk dan keluar ruang iradiasi. Di dalam ruang iradiasi *tote-tote* bergeser dengan bantuan sistem pneumatik. Pergeseran *tote-tote* didesain sedemikian rupa sehingga diperoleh rasio dosis radiasi yang relatif seragam. Selesai iradiasi, *tote* kembali diangkat oleh *box car* melalui jalur yang sama. Proses masuk-keluar *box car* inilah yang menjadi bahasan dalam makalah ini. Pembahasan bertujuan untuk menentukan spesifikasi teknis untuk komponen-komponen utama. Kegiatan ini meliputi evaluasi konfigurasi mekanik prinsip kerja, pemodelan analitik, penyelesaian perhitungan dan penentuan spesifikasi teknis beberapa komponen utama dengan mempertimbangkan keberadaan produk di pasar.

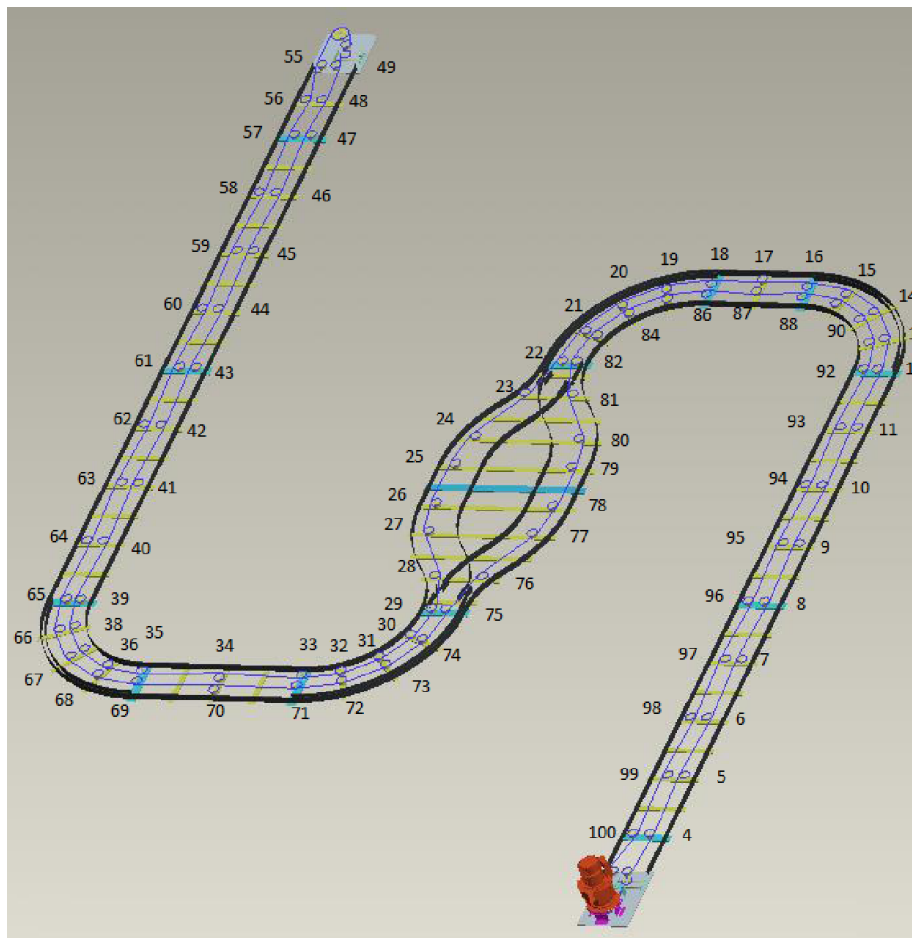


Gambar 1. Denah ruang iradiasi^[2]

2. TEORI

2.1 Proses masuk-keluar *box car* dari ruang iradiasi

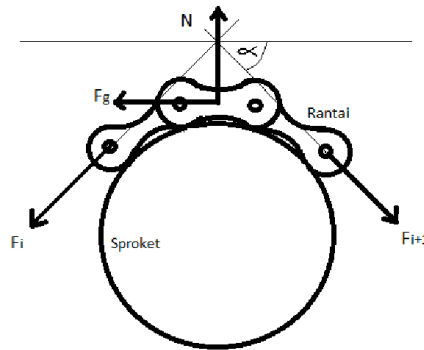
Tote yang berisi produk yang akan diiradiasi harus dimasukkan ke dalam ruang iradiator. Tugas ini dilaksanakan oleh bagian transportasi produk. Sistem ini terdiri dari dua *box car* yang masing-masing membawa sebuah tote^[2]. Sebuah *box car* pada saat masuk ruang iradiasi bertugas untuk memasukkan tote yang telah diisi dengan produk yang akan diiradiasi. Sementara *box car* lainnya pada saat keluar dari ruang iradiasi bertugas mengeluarkan tote yang berisi produk yang telah diiradiasi. Kedua *box car* bergerak bersamaan dan berpapasan melalui persimpangan di pertengahan lintasan. *Box car* dilengkapi dengan roda yang berjalan di atas rel dengan lintasan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Proses masuk-keluar *box car* ditarik oleh rantai yang digerakkan oleh motor listrik. Lebih dari seratus sproket rantai digunakan untuk membentuk lintasan rantai *zig zag* untuk menjaga kekencangan rantai sehingga tidak terlepas dari sproket.



Gambar 2. Lintasan masuk-keluar tote

2.2 Pemodelan gaya-gaya pada rantai^[3]

Rantai membentuk sebuah untai tertutup. Gerakan rantai ditarik oleh motor yang dapat berputar bolak-balik. Torsi motor harus mampu melawan gaya-gaya gesekan pada rantai dan juga gaya karena beban *box car*. Rantai dilengkapi dengan sproket yang berputar pada porosnya untuk menjaga tegangan atau kekencangan rantai. Pada setiap sproket terdapat gaya gesekan seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Gaya-gaya pada pasangan rantai dan sproket

Sproket diasumsikan bergerak searah jarum jam. Gaya F_i merupakan gaya yang menggambarkan tegangan rantai sebelum sproket dan Gaya F_{i+1} merupakan tegangan rantai setelah melewati sproket. F_g adalah gaya gesekan antara rantai dengan sproket dan antara sproket dengan porosnya. N adalah gaya normal. Karena kecepatan dianggap konstan dan efek sentrifugal diabaikan maka Hukum Newton I berlaku di mana jumlah semua gaya adalah nol. Persamaan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal dan vertikal memberikan Persamaan 1 dan 2 berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma F_{\text{horizontal}} &= 0 \\ \Leftrightarrow F_{i+1} \cos \alpha &= F_i \cos \alpha + F_g \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_{\text{vertikal}} &= 0 \\ \Leftrightarrow N &= F_i \sin \alpha + F_{i+1} \sin \alpha \\ \Leftrightarrow N &= (F_i + F_{i+1}) \sin \alpha \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

Di sisi lain gaya gesekan antara sproket dan rantai diberikan oleh Persamaan 3a yang dikembangkan menjadi Persamaan 3b.

$$F_g = \mu N \dots\dots\dots(3a)$$

$$\Leftrightarrow F_g = \mu (F_i + F_{i+1}) \sin \alpha \dots\dots\dots(3b)$$

Persamaan-persamaan di atas dikombinasikan sehingga menghasilkan persamaan sbb:

$$\begin{aligned} F_{i+1} \cos \alpha &= F_i \cos \alpha + \mu (F_i + F_{i+1}) \sin \alpha \\ \Leftrightarrow F_{i+1} (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) &= F_i (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) \\ \Leftrightarrow F_{i+1} &= F_i (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) / (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) \\ \Leftrightarrow F_{i+1} &= F_i K \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

dengan $K = (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) / (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)$.

Parameter α merupakan sudut lintasan rantai dan ini terkait dengan konfigurasi antar sproket-sproket yang bertetangga. Dengan persamaan ini, bila F_i diketahui maka F_{i+1} juga dapat dihitung. Persamaan ini berlaku untuk semua sproket yang ada. Berdasarkan desain awal, lebih dari 100 sproket dibutuhkan. Dengan demikian persamaan tersebut harus dipecahkan untuk sebanyak sproket tersebut, dimulai dari $i = 1$ hingga $i =$ jumlah sproket dan dilakukan secara berurutan.

Persamaan 4 juga memberikan informasi tentang koefisien perkalian K . Untuk kasus tertentu di mana penyebut mendekati nol atau nilai $\cos \alpha$ hampir sama dengan $\mu \sin \alpha$, maka nilai K menjadi besar. Begitu pula dengan gaya F_{i+1} menjadi besar sekali atau bahkan tak terhingga. Fenomena ini dikenal dengan *self locking*.

Di samping gaya gesekan antara rantai dan sproket, rantai juga harus kuat melawan beban berat *box car* dan berat rantai itu sendiri. Perhitungan gaya yang dibutuhkan untuk menarik *box car* menggunakan Persamaan 3a dengan catatan gesekan yang ada adalah gesekan antara roda *box car* dengan rel lintasan.

Rantai digerakkan oleh motor dengan demikian motor harus mempunyai daya yang cukup untuk menarik rantai. Daya motor (P) yang diperlukan untuk menarik rantai dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = S_f F V \dots\dots\dots(5)$$

di mana F adalah gaya rantai, S_f adalah *safety factor* untuk daya motor dan V adalah kecepatan.

3. TATAKERJA

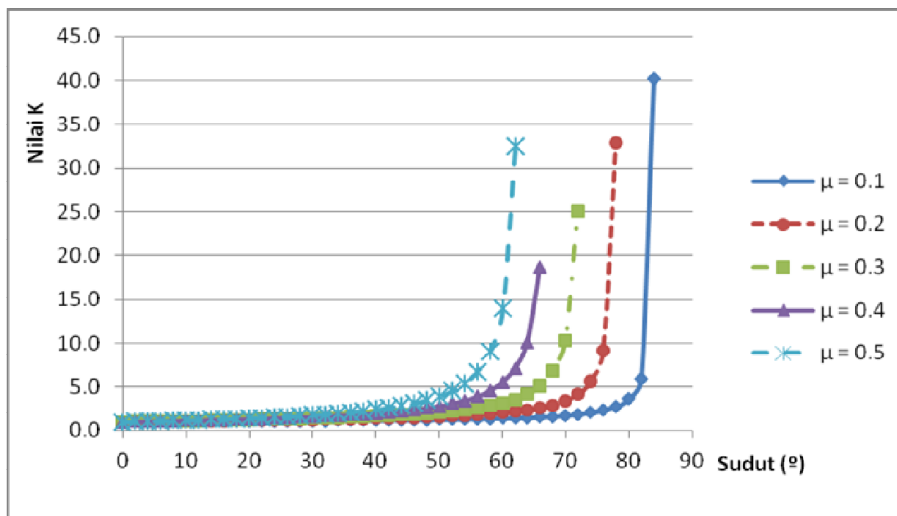
Penentuan spesifikasi komponen-komponen utama pada bagian mekanik masuk-keluar *box car* dari ruang iradiasi dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- Mempelajari jalur lintasan *box car* yang mengacu pada desain radiator Izotop Hungaria
- Mengembangkan persamaan tentang gaya-gaya pada rantai
- Menyelesaikan persamaan gaya-gaya
- Menentukan spesifikasi komponen dengan mempertimbangkan hasil perhitungan dan keberadaan produk di pasar.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyelesaian persamaan gaya

Persamaan 4 menunjukkan bahwa gaya tarik rantai dipengaruhi oleh nilai sudut α dan koefisien gesekan μ . Pengaruh kedua parameter ini pada koefisien perkalian $K = (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) / (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)$ ditunjukkan dalam Gambar 4. Terlihat dengan jelas apabila nilai koefisien gesekan besar dan sudut belokan juga besar akan berpotensi pada besarnya nilai K dan sekaligus gaya yang dibutuhkan. Bahkan untuk kasus tertentu di mana $\cos \alpha = \mu \sin \alpha$, akan terjadi posisi *self locking*. Dalam hal ini, koefisien perkalian menjadi tak terhingga, yang berarti berapapun daya motor yang dipakai, tidak akan dapat menggerakkan rantai. Dari kurva ini dapat diambil beberapa rekomendasi awal untuk batasan desain. Untuk selanjutnya ditetapkan koefisien gesekan tidak boleh melebihi dari 0,1 dan sudut belokan tidak boleh lebih besar dari 45° . Dengan memperhatikan kedua batasan ini, potensi fenomena *self locking* dapat dihindari. Terkait gesekan, penggunaan *bearing* tipe apapun dapat menjawab permasalahan ini karena koefisien gesekan *bearing* lebih kecil dari $0,006^{[4]}$. Namun demikian karena efek iradiasi, oli pelumasan pada *bearing* berpotensi untuk cepat menggumpal yang berakibat pada naiknya koefisien gesekan. Karena kesulitan mendapatkan angka akurat tentang pengaruh radiasi gamma pada gesekan *bearing*, koefisien gesekan yang menggunakan *bearing* ditetapkan pada nilai 0,05 untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 4. Pengaruh sudut belokan dan koefisien gesekan pada koefisien K

Proses masuk-keluar *box car* dilakukan oleh rantai dengan lintasan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Sebanyak 103 sproket digunakan untuk membentuk lintasan rantai yang cenderung *zig zag* untuk menjaga kekencangan rantai. Sudut rantai didesain sesuai dengan mempertimbangkan rekomendasi evaluasi sebelumnya.

Rantai menarik dua buah *box car* dan muatannya. Gaya rantai akan membutuhkan gaya maksimum ketika kedua *box car* mengambil posisi terjauh (titik ujung). Ketika motor berputar searah jarum jam, *box car* berada di titik dekat sproket nomor 100 dan 49. Sebaliknya ketika berputar berlawanan jarum jam, *box car* berada di dekat sproket nomor 55 dan 4. Perhitungan dilakukan dengan mengembangkan *spreadsheet Excel*. Perhitungan diawali dengan asumsi gaya tarik (kekencangan) rantai di ujung terjauh dari motor atau di titik $i = 1$ adalah 5 N. Evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa nilai awal ini tidak begitu berpengaruh pada gaya akhir yang dibutuhkan untuk menarik total rantai. Hasil perhitungan untuk motor berputar searah jarum jam menunjukkan bahwa gaya tarik rantai maksimum adalah 1196,4 N atau dibulatkan menjadi 1200 N (lihat Lampiran). Evaluasi juga menunjukkan bahwa untuk motor berputar berlawanan jarum jam, gaya tarik rantai maksimum lebih kecil dari nilai tersebut.

4.2 Spesifikasi motor

Daya motor (P) yang diperlukan untuk menarik rantai dapat dihitung dengan Persamaan 5. Dengan asumsi kecepatan sebesar 0,125 m per detik dan faktor keselamatan empat kali lipat, maka daya motor dapat dihitung menjadi:

$$P = (4 \times 1200 \times 0,125) \text{ Watt} \\ = 600 \text{ Watt (atau 0,8 hp)}$$

Dengan merujuk pada ketersediaan di pasaran, daya motor diputuskan pada harga 1,0 HP. Karena *box car* hilir mudik masuk keluar ruang radiator, maka motor harus dapat diputar bolak balik. Di samping itu untuk menghindari efek kejut, motor juga sebaiknya dapat dikontrol sehingga bergerak pelan pada beberapa saat awal dan kemudian bergerak cepat kemudian. Dan sebaliknya sesaat sebelum berhenti, kecepatan motor juga dikurangi secara perlahan.

Kecepatan motor bergantung pada jenis dan merk motor. Mengingat data tentang kecepatan motor juga dibutuhkan untuk perhitungan selanjutnya maka diputuskan berdasarkan ketersediaan motor di pasar kecepatan yang ditentukan adalah 1400 rpm. Tabel 1 merangkum spesifikasi teknik minimum dari motor penarik rantai.

Tabel 1. Spesifikasi motor penarik rantai

No	Parameter	Spesifikasi teknis
1	Daya	1 HP
2	Kecepatan	1400 rpm
3	Arah	Dapat bolak balik
4	Lain-lain	Akselerasi dan perlambatan dapat dikontrol

4.3 Spesifikasi rantai

Untuk dapat menarik dua *box car* dengan bentuk lintasan tertutup, rantai harus kuat menarik gaya sebesar 1200 N. Karena gaya bersifat dinamis maka batasan kekuatan ditetapkan dengan faktor keselamatan 8 kali lipat. Dengan demikian gaya tarik rantai terkoreksi menjadi 9600 N. Dari katalog rantai diperoleh bahwa rantai yang cocok adalah nomor 40^[5]. Rantai dengan standar ini mempunyai kekuatan minimum *tensile strength* hingga 15,2 kN (lihat Tabel 2). Harga batasan ini masih di atas gaya tarik rantai terkoreksi.

Tabel 2. Kekuatan rantai berdasarkan nomor rantai^[5]

Dimensions

Chain No.		Pitch P	Roller Link Width W	Bush Dia. D	Pin								Transverse Pitch C	Plate		JIS Min. Tensile Strength		DID Min. Tensile Strength		Avg. Tensile Strength		DID Max. Allowable Load		Approx. weight (kg/m)	No. of links per unit	
DID	JIS				d	E	F	G	L	f	g	T		H	kN	kgf	kN	kgf	kN	kgf	kN	kgf				
*DID 25	25	6.35	3.18	(3.30)	2.31	7.8	8.5	—	—	4.7	—	6.4	0.72	9	3.6	367	63	370	4.41	450	0.73	75	0.13	160		
*DID 35	35	9.53	4.78	(5.08)	3.59	12.0	13.1	—	—	7.3	—	10.1	1.25	9.0	8.7	887	83	900	11.2	1,150	2.15	220	0.32	320		
DID 41	41	12.70	6.35	(6.60)	4.57	15.7	16.8	—	—	9.9	—	12.0	1.50	12.0	11.8	1,200	100	1,100	13.9	1,400	2.35	240	0.39	240		
DID 40	40	12.70	7.95	7.92	3.97	16.5	17.6	—	—	19.3	9.5	—	14.4	1.50	2.0	15.2	1,549	1,599	1,600	19.1	1,950	3.72	380	0.63	240	
DID 50	50	15.88	9.53	10.16	5.09	20.3	21.9	—	—	23.1	11.6	—	18.1	2.00	5.0	24	2,447	2,498	2,700	30.8	3,150	6.86	700	1.08	192	
DID 60	60	19.05	12.70	11.91	5.95	25.4	26.9	27.9	30.0	14.3	15.1	22.8	2.40	8.1	34.2	3,487	3,580	3,600	44.1	4,500	9.31	950	1.44	160		
DID 80	80	25.4	15.88	15.88	7.94	32.6	—	—	—	35.4	36.4	—	19.0	29.3	3.20	40	6.12	6,240	7,169	7,300	78.4	8,000	14.7	1,500	2.55	120
DID 100	100	31.75	19.05	19.05	9.54	39.5	—	—	—	42.5	43.5	—	22.8	35.8	4.00	29.9	95.4	9,728	10,788	11,000	118	12,100	22.5	2,300	3.79	96
DID 120	120	38.10	25.40	22.23	11.11	49.7	—	—	—	53.0	54.1	—	28.2	45.4	4.80	36.9	137.1	13,980	14,111	15,000	166	17,000	30.4	3,100	5.49	80
DID 140	140	44.45	25.40	25.40	12.71	53.6	—	—	—	58.4	59.6	—	31.6	48.9	5.60	43.9	185.9	18,956	19,311	19,700	215	22,000	40.2	4,100	7.11	68
DID 160	160	50.80	31.75	28.58	14.29	63.6	—	—	—	68.2	69.7	—	36.4	58.5	6.40	47.1	244.6	24,942	25,111	25,000	269	27,500	52.9	5,400	9.82	60
DID 180	180	57.15	35.72	35.71	17.46	71.5	—	—	—	77.3	79.3	—	41.4	65.8	7.10	53.8	308.2	31,427	33,34	34,000	362	37,000	61.7	6,300	12.7	54
DID 200	200	63.50	38.10	39.68	19.85	77.9	—	—	—	85.0	87.3	—	45.9	71.6	8.00	60.0	381.7	38,921	43.14	44,000	470	48,000	73.5	7,500	16.5	48
DID 240	240	76.20	47.63	47.63	23.81	95.2	—	—	—	102.0	105.4	—	55.3	87.8	9.50	71.5	550.1	55,125	62,27	63,500	686	70,000	99.0	10,100	23.3	40

Note: 1. Those marked with * indicate bushing chains.
2. The values of average tensile strength and Max. allowable load are for chains.

4.4 Spesifikasi sproket

Jenis sproket rantai terbagi ke dalam dua macam. Sproket pertama dipasang pada poros motor. Jumlahnya hanya satu buah. Sproket inilah yang menjadi sumber penggerak rantai. Sproket jenis kedua digunakan untuk membentuk lintasan rantai tertutup dimulai dari sproket motor masuk dalam ruang labirin, masuk ke dalam ruang radiator dan keluar lagi melalui labirin hingga akhirnya kembali ke sproket motor. Sproket ini berjumlah 103.

Karena standar rantai telah ditentukan maka sproket yang digunakan harus juga nomor 40. Penentuan jumlah gigi sproket menggunakan Tabel 3. Mengingat kecepatan rantai tidak terlalu besar maka kecepatan putar sproket kurang dari 50 rpm. Berdasarkan penetapan sebelumnya, daya mekanik motor yang dibutuhkan adalah 1 HP atau sekitar 746 Watt. Merujuk pada Tabel 3, maka sproket yang sesuai berjumlah 40 gigi. Sproket tipe inilah yang dipasang pada motor dan digunakan sebagai penggerak rantai.

Sproket lain juga dibutuhkan untuk membuat lintasan zig zag rantai yang berjumlah 103 buah. Bila menggunakan sproket dengan jumlah gigi 40 akan mengakibatkan harga mahal. Untuk alasan praktis dan ekonomis, sproket yang digunakan adalah sproket dengan jumlah gigi 12.

Tabel 3. Penentuan jumlah gigi sproket

Max. Kilowatt Ratings DID 40

No. of Teeth of Small Sprocket	Small sprocket rpm (Refer to P132 for the details of lubrication A, B and C.)																Unit (kW)			
	A				B				C											
Type of Lubrication	50	200	400	600	900	1200	1800	2400	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	9000
11	0.20	0.70	1.36	1.88	2.71	3.51	3.48	2.26	1.62	1.28	1.05	0.88	0.75	0.65	0.57	0.51	0.45	0.41	0.37	
12	0.22	0.77	1.43	2.06	2.97	3.85	3.96	2.57	1.84	1.46	1.20	1.00	0.86	0.74	0.65	0.58	0.52	0.47	0.42	
13	0.24	0.84	1.58	2.25	3.24	4.20	4.47	2.90	2.08	1.65	1.35	1.13	0.97	0.84	0.73	0.65	0.58	0.53	0.48	
14	0.25	0.91	1.69	2.44	3.51	4.55	5.00	3.24	2.32	1.84	1.51	1.26	1.08	0.94	0.82	0.73	0.65	0.59	0.53	
15	0.28	0.98	1.82	2.63	3.78	4.90	5.54	3.60	2.57	2.04	1.67	1.40	1.20	1.04	0.91	0.81	0.72	0.65		
16	0.30	1.05	1.96	2.82	4.06	5.26	6.10	3.96	2.84	2.25	1.84	1.54	1.32	1.14	1.00	0.89	0.80	0.72		
17	0.32	1.12	2.09	3.01	4.33	5.61	6.68	4.34	3.11	2.47	2.02	1.69	1.44	1.25	1.10	0.97	0.87	0.79		
18	0.34	1.19	2.22	3.20	4.61	5.97	7.28	4.73	3.38	2.69	2.20	1.84	1.57	1.36	1.20	1.06	0.95	0.86		
19	0.36	1.26	2.35	3.39	4.89	6.33	7.90	5.13	3.67	2.91	2.38	2.00	1.71	1.48	1.30	1.15	1.03	0.93		
20	0.38	1.33	2.49	3.58	5.16	6.69	8.53	5.54	3.96	3.15	2.57	2.16	1.84	1.60	1.40	1.24	1.11	1.00		
21	0.40	1.41	2.62	3.78	5.44	7.05	9.18	5.96	4.27	3.38	2.77	2.32	1.98	1.72	1.51	1.34	1.20	1.08		
22	0.42	1.48	2.76	3.97	5.72	7.41	9.84	6.39	4.57	3.63	2.97	2.49	2.13	1.84	1.62	1.43	1.28			
23	0.45	1.55	2.89	4.17	6.00	7.78	10.5	6.83	4.89	3.88	3.18	2.66	2.27	1.97	1.73	1.53	1.37			
24	0.47	1.62	3.03	4.37	6.29	8.15	11.2	7.28	5.21	4.14	3.38	2.84	2.42	2.10	1.84	1.63	1.46			
25	0.49	1.70	3.17	4.56	6.57	8.51	11.9	7.74	5.54	4.40	3.60	3.02	2.57	2.23	1.96	1.74				
28	0.55	1.92	3.58	5.16	7.43	9.62	13.9	9.18	6.57	5.21	4.27	3.57	3.05	2.65	2.32	2.06				
30	0.59	2.07	3.86	5.55	8.00	10.4	14.9	10.2	7.28	5.78	4.73	3.96	3.38	2.93	2.57					
32	0.64	2.22	4.13	5.96	8.58	11.1	16.0	11.2	8.02	6.37	5.21	4.37	3.73	3.23	2.84					
35	0.70	2.44	4.55	6.56	9.45	12.2	17.6	12.8	9.18	7.28	5.96	5.00	4.27	3.70						
40	0.81	2.82	5.26	7.58	10.9	14.1	20.4	15.7	11.2	8.90	7.28	6.10	5.21							
45	0.92	3.20	5.98	8.61	12.4	16.1	23.1	18.7	13.4	10.6	8.69	7.28								

Note: Values in the above table are for simplex chain only. For multiplex chains, please multiply the coefficient of multi-strand. (See "Chain Selection" on P120).

4.5 Spesifikasi gearbox

Rantai bergerak dengan kecepatan 125 mm/det. Dengan jumlah gigi 40 dan nomor rantai 40, maka diameter *pitch* rantai adalah 161,87 mm. Dengan demikian kecepatan sproket menjadi 1,544 rad/det atau 14,75 rpm. Sementara itu kecepatan motor telah ditetapkan 1400 rpm. Dengan demikian motor membutuhkan *gearbox* penurun kecepatan. Adapun rasio *gearbox* adalah 1:94,93. Mengingat ketersediaan di pasar, akhirnya diputuskan *gearbox* dengan rasio 1:96. Dengan rasio *gearbox* seperti ini, kecepatan sproket terkoreksi menjadi 14,583 rpm. Selanjutnya untuk mendapatkan kecepatan 14,75 rpm atau 125 mm/det, motor harus dapat diperlambat menggunakan inverter.

5. KESIMPULAN.

Telah dilakukan penentuan spesifikasi komponen-komponen utama pada bagian transportasi produk yang berfungsi untuk memasukkan dan mengeluarkan tote dengan bantuan *box car* dari ruang iradiasi. Kegiatan diawali dengan mempelajari geometri lintasan rantai. Selanjutnya persamaan gaya dikembangkan dan diselesaikan. Dengan diperolehnya gaya yang dibutuhkan untuk menarik rantai, beberapa spesifikasi komponen utama berhasil diidentifikasi seperti motor, rantai, sproket dan gearbox. Berdasarkan perhitungan, daya motor minimum adalah 1 HP. Rantai telah diidentifikasi dengan spesifikasi nomor rantai 40. Sproket terdiri dari dua jenis. Jenis pertama adalah sproket yang dipasang langsung pada motor dengan jumlah gigi 40. Sedangkan jenis lainnya adalah sproket 12 gigi yang berjumlah 103 buah. Untuk gearbox, rasio penurunan kecepatan yang diinginkan adalah 1:96.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BUDI SANTOSO, *Desain Rinci Irradiator Gamma 200 Kci*, Usulan Kegiatan Penelitian PRFN-BATAN, 2014
- [2]. -----, TECHNICAL SPECIFICATION: *Multipurpose Continuous And Batch Gamma Irradiator (Co-60 Sources)*, PT. GAMMA MITRA LESTARI, Jakarta, 2014
- [3]. ARI SATMOKO, TECHNICAL DOCUMENT: *Perhitungan Komponen-Komponen Mekanik Dan Sizing*, TD02-WP0-WBS2-RFN-2014-23, Rev. 0, 2014
- [4]. NIEMANN G., *Elemen Mesin I*, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, 1994
- [5]. -----, DID General Catalogue 2007: *Power Transmission & Conveyor Chain*, DAIDO KOGYO Co. Ltd., Japan, January 2007

Lampiran 1. Perhitungan gaya tarik rantai F_{i+1}

No. Sproket	sudut		μ	Massa (kg)	Gaya beban (N)	Gaya rantai F_i (N)
	(°)	(rad)				
1	11.5	0.200713	0.05			1196.4
2	22.5	0.392699	0.05			1172.3
3	11.5	0.200713	0.05			1124.8
4	5	0.087266	0.05			1102.1
5	5	0.087266	0.05			1092.5
6	5	0.087266	0.05			1083.0
7	5	0.087266	0.05			1073.6
8	5	0.087266	0.05			1064.2
9	5	0.087266	0.05			1054.9
10	5	0.087266	0.05			1045.8
11	5	0.087266	0.05			1036.6
12	7.5	0.1309	0.05			1027.6
13	15	0.261799	0.05			1014.2
14	15	0.261799	0.05			987.4
15	15	0.261799	0.05			961.3
16	7.5	0.1309	0.05			935.8
17	7.5	0.1309	0.05			923.6
18	7.5	0.1309	0.05			911.5
19	15	0.261799	0.05			899.6
20	15	0.261799	0.05			875.8
21	15	0.261799	0.05			852.7
22	12	0.20944	0.05			830.1
23	12	0.20944	0.05			812.7
24	12	0.20944	0.05			795.6
25	5	0.087266	0.05			778.8
26	5	0.087266	0.05			772.0
27	12	0.20944	0.05			765.3
28	12	0.20944	0.05			749.2
29	12	0.20944	0.05			733.5
30	15	0.261799	0.05			718.0
31	15	0.261799	0.05			699.1
32	15	0.261799	0.05			680.6
33	7.5	0.1309	0.05			662.6
34	5	0.087266	0.05			653.9
35	7.5	0.1309	0.05			648.2
36	15	0.261799	0.05			639.7
37	15	0.261799	0.05			622.8
38	15	0.261799	0.05			606.4
39	7.5	0.1309	0.05			590.3
40	5	0.087266	0.05			582.6
41	5	0.087266	0.05			577.5
42	5	0.087266	0.05			572.5
43	5	0.087266	0.05			567.5
44	5	0.087266	0.05			562.6
45	5	0.087266	0.05			557.7
46	5	0.087266	0.05			552.8
47	5	0.087266	0.05			548.0
48	5	0.087266	0.05			543.2
49	5	0.087266	0.05			538.5
			0.05	300	147	533.8

50	10	0.174533	0.05			386.8
51	20	0.349066	0.05			380.0
52	20	0.349066	0.05			366.4
53	45	0.785398	0.05			353.3
54	10	0.174533	0.05			319.7
55	5	0.087266	0.05			314.1
56	5	0.087266	0.05			311.4
57	5	0.087266	0.05			308.7
58	5	0.087266	0.05			306.0
59	5	0.087266	0.05			303.3
60	5	0.087266	0.05			300.7
61	5	0.087266	0.05			298.0
62	5	0.087266	0.05			295.4
63	5	0.087266	0.05			292.9
64	5	0.087266	0.05			290.3
65	7.5	0.1309	0.05			287.8
66	15	0.261799	0.05			284.0
67	15	0.261799	0.05			276.5
68	15	0.261799	0.05			269.2
69	7.5	0.1309	0.05			262.1
70	5	0.087266	0.05			258.7
71	7.5	0.1309	0.05			256.4
72	15	0.261799	0.05			253.1
73	15	0.261799	0.05			246.4
74	15	0.261799	0.05			239.9
75	12	0.20944	0.05			233.5
76	12	0.20944	0.05			228.6
77	12	0.20944	0.05			223.8
78	5	0.087266	0.05			219.1
79	5	0.087266	0.05			217.2
80	12	0.20944	0.05			215.3
81	12	0.20944	0.05			210.8
82	12	0.20944	0.05			206.3
83	15	0.261799	0.05			202.0
84	15	0.261799	0.05			196.6
85	15	0.261799	0.05			191.4
86	7.5	0.1309	0.05			186.4
87	7.5	0.1309	0.05			183.9
88	7.5	0.1309	0.05			181.5
89	15	0.261799	0.05			179.2
90	15	0.261799	0.05			174.4
91	15	0.261799	0.05			169.8
92	7.5	0.1309	0.05			165.3
93	5	0.087266	0.05			163.2
94	5	0.087266	0.05			161.7
95	5	0.087266	0.05			160.3
96	5	0.087266	0.05			158.9
97	5	0.087266	0.05			157.6
98	5	0.087266	0.05			156.2
99	5	0.087266	0.05			154.8
100	5	0.087266	0.05			153.5
			0.05	300	147	152.1
101	5	0.087266	0.05			5.1
102	5	0.087266	0.05			5.1
103	5	0.087266	0.05			5.0
0						5.0