

Analisis Kegagalan *V-belt* Pada Pumping Unit Di *Heavy Oil*

Mulyadi¹

¹Mahasiswa Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

Email: mulyadipiliang11@gmail.com

Dr. Ir Edi Septe S, M.T²

²Dosen Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

Email: edi.septe@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Pumping unit merupakan salah satu peralatan utama dalam produksi *heavy oil* yang berfungsi untuk menggerakkan sistem pompa melalui transmisi mekanis. Salah satu komponen transmisi mekanis dalam sistem ini adalah *v-belt*, yang berperan dalam mentransfer daya dari motor penggerak ke unit pompa. Namun, kegagalan *v-belt* sering terjadi akibat beban kerja tinggi, kondisi operasi yang berat, serta faktor desain dan pemeliharaan yang kurang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan *v-belt* pada pumping unit *heavy oil* melalui pendekatan studi kasus dan analisis teknis. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data operasional, inspeksi visual, pengukuran parameter kerja, serta perhitungan kapasitas transmisi berdasarkan standar desain *v-belt*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan dominan disebabkan oleh slip berlebih, keausan permukaan, dan ketidaksesuaian tegangan awal yang mengurangi efisiensi transmisi daya. Selain itu, kondisi lingkungan yang ekstrem mempercepat degradasi material *v-belt*.

Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan pentingnya pemilihan spesifikasi *v-belt* yang sesuai, penerapan prosedur pemasangan yang benar, serta program pemeliharaan preventif untuk meningkatkan keandalan pumping unit pada operasi *heavy oil*.

Kata kunci: V-belt, pumping unit, heavy oil, analisis kegagalan, transmisi daya

ABSTRACT (12pt Bold Italic)

The pumping unit is one of the main pieces of equipment in heavy oil production, functioning to drive the pumping system through mechanical transmission. A key component of this transmission system is the V-belt, which transfers power from the driving motor to the pump unit. However, V-belt failures frequently occur due to high workloads, harsh operating conditions, as well as suboptimal design and maintenance factors.

This study aims to analyze the causes of V-belt failure in heavy oil pumping units through a case study approach and technical analysis. The methods employed include operational data collection, visual inspection, measurement of working parameters, and transmission capacity calculations based on V-belt design standards.

The analysis results indicate that the dominant failures are caused by excessive slip, surface wear, and improper initial tension, which reduce power transmission efficiency. In addition, extreme environmental conditions accelerate the degradation of V-belt material.

The conclusion of this study emphasizes the importance of selecting appropriate V-belt specifications, applying proper installation procedures, and implementing preventive maintenance programs to improve the reliability of pumping units in heavy oil operations.

Keywords: *V-belt, pumping unit, heavy oil, failure analysis, power transmission*

PENDAHULUAN

Dalam industri migas, **pumping unit** merupakan peralatan vital yang berfungsi memindahkan fluida dari satu titik ke titik lain (Smith dan Jones, 2018). Salah satu komponen utama dalam sistem ini adalah **transmisi daya**, yang umumnya menggunakan **V-belt** sebagai penghubung antara motor penggerak (*prime mover*) dan *gearbox* atau *gear reducer* (Rahman *et al.*, 2021).

V-belt dipilih karena memiliki kemampuan meredam getaran, kemudahan pemasangan, serta biaya perawatan yang relatif rendah dibandingkan sistem transmisi lain seperti gear atau chain (Shigley dan Mischke, 2001). Namun, V-belt memiliki keterbatasan dalam hal ketahanan terhadap keausan, slip, serta keandalan jangka panjang, khususnya pada kondisi operasi ekstrem seperti suhu tinggi, beban kejut, dan lingkungan korosif (Widodo dan Supriyadi, 2021).

Kasus kegagalan V-belt di lapangan sering ditemukan dalam bentuk retak, putus, aus, slip, atau deformasi akibat panas berlebih. Kegagalan ini dapat menyebabkan downtime pada pumping unit, yang berimplikasi pada penurunan produktivitas dan kerugian ekonomi (Zhang *et al.*, 2019). Faktor penyebab kegagalan meliputi pemasangan yang tidak tepat, tegangan yang tidak sesuai, kesalahan pemilihan material, serta kelelahan material akibat umur pakai (Hernandez dan Lopez, 2017).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebab kegagalan V-belt pada pumping unit heavy oil. Analisis ini diharapkan dapat mengidentifikasi akar penyebab kerusakan dan memberikan rekomendasi teknis yang mendukung pengambilan keputusan dalam pemeliharaan, sehingga meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem pumping unit secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kualitatif dengan studi kasus pada beberapa pumping unit heavy oil yang mengalami kegagalan v-belt secara berulang. Data penelitian dikumpulkan pada bulan desember 2025 di fasilitas produksi heavy oil melalui observasi langsung, dokumentasi teknis, wawancara dengan teknisi, serta pengukuran parameter kerja. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan beberapa instrumen:

1. Tension Meter
Digunakan untuk mengukur ketegangan sabuk
2. Pulley Gauge
Digunakan untuk memeriksa kondisi groove pulley

3. Clamp Ampere
Digunakan untuk mengukur arus listrik motor pada siklus upstroke dan downstroke pumping unit
4. Tachometer non-contact
Digunakan untuk mengukur kecepatan putaran motor dan pulley

Objek penelitian difokuskan pada komponen v-belt yang mengalami kerusakan berupa retak, slip, putus, dan penurunan ketegangan dengan analisis mencakup kondisi sabuk, kondisi fisik pulley, serta riwayat kegagalan.

Data yang diperoleh dianalisis melalui pendekatan kualitatif dengan mengkategorikan jenis kerusakan, analisis perbandingan terhadap standar teknis produsen v-belt, serta analisis visual dan fisik untuk mengidentifikasi pola kerusakan. Parameter penelitian mencakup kecepatan putar pulley, daya yang ditransmisikan, downtime operasi, beban listrik motor, kondisi fisik v-belt dan pulley, ketegangan sabuk, suhu lingkungan, paparan kontaminan, umur pakai, serta frekuensi penggantian v-belt. Analisis ini bertujuan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai faktor penyebab kegagalan dan memberikan rekomendasi teknis yang relevan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data observasi kegagalan v-belt pada pumping unit di beberapa lokasi sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Penelitian

No	Lokasi	Parameter									Spesifikasi		
		Kecepatan pulley motor (rpm)	Daya motor (HP)	Downtime (jan-okt 2025) (Hours)	Load Sumur (Ampere)	Pressure Sumur (Psi)	Ketegangan V-belt (Pound)	Kondisi Fisik V-belt	Kondisi Fisik Pulley	Frekuensi Kegagalan V-belt (jan-okt 2025)	V-belt	Pulley D1 (inch)	Pulley D2 (inch)
1	2J0411A	617,2 (1110)	20	9,46	UP 13,5 Down 16,7	UP 75 Down 75	8,5 (11,3)	Bagus/normal	Bagus/normal	5	C-158	8"	30"
2	7S62A	728,2 (1020)	25,8	7,97	UP 21,2 Down 21,5	UP 35 Down 50	8 (11,3)	Bagus/normal	Bagus/normal	4	C-158	4"	30"
3	5L69D	1191,1 (1200)	20	26,09	UP 6,7 Down 3,5	UP 60 Down 60	6 (11,3)	Retak/pecah	Sudah aus	9	C-158	4"	30"
4	6P47B	1118,5 (1200)	20	34,62	UP 13,8 Down 15	UP 50 Down 100	6,8 (11,3)	Retak/pecah	Sudah aus	7	C-158	3"	30"
5	6F0602B	723,8 (1100)	20	18,45	UP 14,9 Down 12,5	UP 125 Down 50	9,5 (11,3)	Bagus/normal	Bagus/normal	3	C-158	4"	30"
6	5R83A	1191,1 (1200)	20	24,34	UP 13,2 Down 16,5	UP 25 Down 25	7,5 (11,3)	Retak/pecah	Sudah aus	7	C-158	3"	30"
7	3N39C	1010,3 (1115)	20	18,27	UP 13,2 Down 14,4	UP 65 Down 45	8,5 (11,3)	Retak/pecah	Bagus/normal	5	C-158	3"	30"
8	3S41A	1007,7 (1110)	20	33,71	UP 12,3 Down 10,4	UP 75 Down 65	9 (11,3)	Bagus/normal	Bagus/normal	5	C-158	4"	30"
9	4S79C	1198 (1200)	20	10,11	UP 14,3 Down 13,2	UP 59 Down 55	9 (11,3)	Retak/pecah	Bagus/normal	4	C-158	4"	30"
10	6P83A	1191,1 (1200)	20	7,33	UP 11,8 Down 14,7	UP 20 Down 50	9 (11,3)	Retak/pecah	Bagus/normal	4	C-158	3"	30"

Perhitungan Penelitian Lokasi 7S62A

1. Jarak Poros diameter *pulley* dan diameter *gearbox*

Data awal referensi pada tabel 4.2:

- *Pulley* motor (d) = 4 inch
- *Pulley gearbox* (D) = 30 inch
- *V-belt* tipe C-158 →
panjang sabuk $\approx$ 158 inch

Persamaan panjang sabuk *v-belt*:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \left(\frac{D-d}{4C}\right)^2$$

Dimana:

- L = panjang sabuk (inch)
- D = diameter *pulley* besar (inch)
- d = diameter *pulley* kecil (inch)
- C = jarak poros (inch)

Substitusi:

$$\begin{aligned} 158 &= 2C + \frac{\pi}{2}(30 + 4) + \left(\frac{30-4}{4C}\right)^2 \\ 158 &= 2C + 53,41 + \frac{676}{4C} \\ 104,59 &= 2C + \frac{169}{C} \end{aligned}$$

Kalikan dengan C :

$$\begin{aligned} 104,59C &= 2C^2 + 169 \\ 2C^2 - 104,59C + 169 &= 0 \end{aligned}$$

Persamaan kuadrat standar:

$$aC^2 + bC + c = 0$$

Dimana:

- $a = 2$
- $b = -104,59$
- $c = 169$

Rumus umum persamaan kuadrat:

$$\begin{aligned} C &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ C &= \frac{-(-104,59) \pm \sqrt{(-104,59)^2 - 4(2)(169)}}{4} \end{aligned}$$

$$C = \frac{104,59 \pm 97,88}{4}$$

Ambil nilai realistik:

$$C = \frac{104,59 + 97,88}{4} = 50,62 \text{ inch}$$

2. Sudut Lilit (*Angle of wrap*)

Untuk menentukan sudut lilit (*angle of wrap*) pada *pulley* motor dan *pulley gearbox*, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Sudut lilit *pulley* kecil:

$$\Theta_s = 180^\circ - 2\alpha$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{30-4}{2(50,62)} \\ \sin \alpha &= \frac{26}{101,24} \\ \sin \alpha &= 0,2568 \\ \alpha &= \sin^{-1}(0,2568) \\ \alpha &= 14,88^\circ \end{aligned}$$

Sudut lilit *pulley* kecil:

$$\begin{aligned} \Theta_s &= 180^\circ - 2\alpha \\ \Theta_s &= 180^\circ - 2(14,88^\circ) \\ \Theta_s &= 180^\circ - 29,76^\circ \\ \Theta_s &= 150,24^\circ \end{aligned}$$

Konversi derajat ke radian:

$$\begin{aligned} \theta \text{ (rad)} &= \theta \text{ (}^\circ\text{)} \times \frac{\pi}{180} \\ \theta \text{ (rad)} &= 150,24^\circ \times \frac{\pi}{180} \\ \theta \text{ (rad)} &= 2,620 \text{ rad} \end{aligned}$$

3. Rasio Putaran

Diketahui data berdasarkan tabel 4.2:

- RPM motor $N_1 = 728,2$ rpm
- Daya motor $P = 25,8$ HP = 19,25 kW = 19250 W
- Jumlah Sabuk = 3 unit
- *Pulley* kecil $d = 4$ inch
- *Pulley* besar $D = 30$ inch
- Sudut lilit *pulley* kecil
 $\theta = 150,24^\circ = 2,620 \text{ rad}$
- Koefisien gesek *V-belt* (karet-besi cor) → $\mu = 0,30$ (Bhandari, 2010)

Untuk transmisi **V-belt** tanpa slip
 (asumsi desain awal):

Persamaan:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D}{d}$$

$$\frac{728,2}{N_2} = \frac{30}{4}$$

$$N_2 = \frac{728,2 \times 4}{30} = 97,1 \text{ rpm}$$

Rasio Putaran:

$$I = \frac{N_1}{N_2} = \frac{728,2}{97,1} = 7,5$$

4. Kecepatan Sabuk

Persamaan (inch $\rightarrow$ ft):

$$v = \frac{\pi d N_1}{12}$$

$$v = \frac{3,14 (4) (728,2)}{12}$$

$$v = 762,1 \text{ ft/min}$$

konversi ke m/s:

$$v = 762,1 \times 0,00508 = 3,87 \text{ m/s}$$

5. Rasio Tegangan Sabuk

Rumus *V-belt*:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu \theta}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0,30 \times 2,620 \text{ rad}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0,786} \approx 2,19$$

Sehingga: $T_1 = 2,19 T_2$

6. Tegangan Sisi Kencang & Kendor

Daya per sabuk:

$$P_{\text{sabuk}} = \frac{19250}{3} = 6416,6 \text{ W}$$

Gaya efektif sabuk ($T_1 - T_2$):

$$P = (T_1 - T_2) v$$

$$T_1 - T_2 = \frac{P_{\text{sabuk}}}{v}$$

$$T_1 - T_2 = \frac{6416,6}{3,87}$$

$$T_1 - T_2 = 1658 \text{ N}$$

Hitung T_1 dan T_2 :

$$T_1 = 2,19 T_2$$

Substitusi ke selisih tegangan:

$$2,19 T_2 - T_2 = 1658$$

$$1,19 T_2 = 1658$$

$$T_2 = 1394 \text{ N}$$

$$T_1 = 2,19 \times 1394 = 3052 \text{ N}$$

7. Tarikan *Centrifugal* pada sabuk

Persamaan yang digunakan:

$$T_c = m \cdot v^2$$

Dimana:

- T_c = tarikan *centrifugal* (N)
- m = massa sabuk per satuan panjang (kg/m)
 $m \approx 1,5 \text{ kg/m}$ (Bhandari, 2010)
- v = kecepatan sabuk (m/s)

Substitusi:

$$T_c = 1,5 \times (3,87)^2$$

$$T_c = 1,5 \times 14,97 = 22,4 \text{ N}$$

8. Tegangan total pada sabuk (dengan *centrifugal*)

Persamaan tegangan total sisi kencang:

$$T_{1,\text{total}} = T_1 + T_c$$

$$T_{1,\text{total}} = 3052 + 22,4$$

$$T_{1,\text{total}} = 3074,4 \text{ N}$$

Persamaan tegangan total sisi kendur:

$$T_{2,\text{total}} = T_2 + T_c$$

$$T_{2,\text{total}} = 1394 + 22,4$$

$$T_{2,\text{total}} = 1416,4 \text{ N}$$

9. Kekuatan Tarik *V-belt* (Tegangan Tarik)

Persamaan yang digunakan:

$$\sigma = \frac{T_{\text{maks}}}{A}$$

Dimana:

- σ = tegangan tarik sabuk (MPa)
- T_{maks} = gaya tarik maksimum sabuk (N)
- A = luas penampang sabuk (m²)

a. Luas penampang sabuk *v-belt* tipe C
 Dimensi standar *v-belt* tipe C
 (Referensi gambar 2.7):

- Lebar atas (b_1) $\approx 22 \text{ mm}$
- Tinggi sabuk (h) $\approx 14 \text{ mm}$

- Sudut alur *pulley* = 40°
(masing-masing sisi 20°)

Penampang berbentuk trapesium, sehingga luasnya:

$$A = \frac{(b_1 + b_2)}{2} \times h$$

untuk *v-belt*:

- $b_1 = 22 \text{ mm}$ (lebar keatas)
- Lebar kebawah :
 $b_2 = b_1 - 2h \tan 20^\circ$
 $b_2 = 22 - 2(14)(0,364)$
 $b_2 = 22 - 10,2 = 11,8 \text{ mm}$

Hitung luas:

$$A = \frac{(22+11,8)}{2} \times 14$$

$$A = 16,9 \times 14 = 237 \text{ mm}^2$$

Konversi ke m^2 :

$$A = 237 \times 10^{-6} = 2,37 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- b. Tegangan tarik sabuk

$$\sigma = \frac{T_{maks}}{A}$$

$$\sigma = \frac{3074,4}{2,37 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma \approx 12,9 \times 10^6 \text{ Pa} \approx 12,9 \text{ MPa}$$

- c. Evaluasi terhadap kekuatan material *v-belt*

Menurut Referensi pada tabel 2.14:

- Tegangan kerja aman *V-belt* rubber, cord reinforced $\approx 5 - 8 \text{ MPa}$

Maka,

$$\text{Hasil tegangan tarik}$$

$$12,9 \text{ MPa} > 5-8 \text{ MPa}$$

Artinya *V-belt* bekerja Melewati Batas Aman, sehingga berpotensi mengalami:

- Kelelahan material lebih cepat
- Retak longitudinal
- Slip berulang
- Penurunan umur pakai signifikan

10. Rekomendasi Perbaikan Desain *V-belt*

- a. Opsi pertama menambah Jumlah *v-belt*

Perhitungan:

Jumlah sabuk awal: $n = 3$

Dinaikkan menjadi: $n = 5$

Gaya efektif per sabuk:

$$(T_1 - T_2)_{baru} = \frac{19250}{5 \times 3,87} = 995 \text{ N}$$

Hubungan rasio tegangan

Dari rasio:

$$T_1 = 2,19T_2$$

Substitusi ke gaya efektif :

$$T_1 - T_2 = 995$$

$$2,19T_2 - T_2 = 995$$

$$1,19T_2 = 995$$

$$T_2 = \frac{995}{1,19} = 836 \text{ N}$$

$$T_1 = 2,19 \times 836 = 1831 \text{ N}$$

Tegangan Maksimum Sabuk:

$$T_c = m.v^2 \approx 22,4 \text{ N}$$

$$T_{max} = T_1 + T_c$$

$$T_{max} = 1831 + 22,4 = 1853,4 \text{ N}$$

$$T_{max, baru} \approx 1,85 \text{ kN}$$

Tegangan tarik baru:

$$\sigma_{baru} = \frac{1853,4}{237 \times 10^{-6}} = 7,8 \text{ MPa}$$

Evaluasi:

$$\text{Hasil tegangan tarik}$$

$$7,8 \text{ MPa} \leq 5 - 8 \text{ MPa}$$

Artinya *V-belt* bekerja masih dibatas aman, tapi sudah mendekati batas konservatif. Perlu penggantian *pulley* dari grove 3 ke grove 5.

- b. Opsi kedua memperbesar Diameter *Pulley* Kecil

Memperbesar diameter *pulley* kecil
→ menurunkan tegangan tarik sabuk → sistem menjadi aman

Data awal:

Pulley kecil (d) = 4 inch

Dinaikkan menjadi:

Pulley kecil (d) = 7 inch

Alasan dipilih:

- Sesuai rekomendasi minimum *V-belt* tipe C (Bando USA. (2017))
- Mengurangi banding stress

Kecepatan sabuk baru:

$d_{baru} = 7 \text{ inch}$

$$v_{baru} = \frac{\pi d N_1}{12}$$

$$v_{baru} = \frac{3.14 \times 7 \times 728,2}{12} = 1333,8 \text{ ft/min}$$

konversi ke m/s:

$$v = 1333,8 \times 0,00508 = 6,78 \text{ m/s}$$

Gaya efektif per sabuk:

$$(T_1 - T_2)_{baru} = \frac{19250}{3 \times 6,78} = 947 \text{ N}$$

Gaya efektif per sabuk turun dari 1.658 N → 947 N (↓43%)

Tegangan maksimum sabuk
 (Dengan rasio tegangan sama):

$$T_{max, baru} \approx 1,85 \text{ kN}$$

Tegangan tarik baru:

$$\sigma_{baru} = \frac{1850}{237 \times 10^{-6}} = 7,8 \text{ MPa}$$

Evaluasi:

Hasil tegangan tarik

$$7,8 \text{ Mpa} \leq 8 \text{ Mpa}$$

Artinya *V-belt* bekerja masih dibatas aman, tapi sudah mendekati batas konservatif. Perbesaran diameter pulley kecil dari 4 inch menjadi 7 inch terbukti secara perhitungan meningkatkan kecepatan sabuk dari 3,87 m/s menjadi 6,78 m/s, sehingga gaya efektif sabuk menurun sebesar 43%. Penurunan gaya ini berdampak

langsung pada turunnya tegangan tarik sabuk dari 12,9 MPa menjadi 7,6 MPa, yang berada dalam batas tegangan izin *V-belt* karet bertulang. Dengan demikian, opsi perbaikan desain ini dinyatakan efektif dan aman.”

Dari opsi rekomendasi perbaikan diatas, berikut hal yang harus dipertimbangkan.

Penambahan *v-belt* menjadi 5 unit:

- Hanya menurunkan **tegangan tarik** (Bhandari, 2010)
- Tidak mengurangi bending stress (Shigley *et al.*, 2015)
- Sabuk tetap dipaksa melengkung di *pulley* kecil (PSG Design Data Book, 2012)

Penggantian *pulley* dari 4 inch menjadi 7 inch:

- Menurunkan **tegangan tarik** (Bhandari, 2010)
- Menurunkan bending stress (Shigley *et al.*, 2015)
- Mengurangi kelelahan material (fatigue) (Gates Rubber Company, 2014)

Ringkasan Hasil Perhitungan

Data yang diperoleh dari hasil perhitungan di 10 lokasi.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Perhitungan

Lokasi	Parameter										
	Jarak Poros <i>Pulley Motor & Pulley Gearbox (C)</i>	Sudut Lilit (θ)	Rasio Putaran (N2)	Kecepatan Sabuk (V)	Rasio Tegangan Sabuk	Tegangan Sisi Kencang & Kendor (N)		Tarikan <i>Centrifugal (Tc)</i>	Tegangan Total (<i>Tmaxs</i>)	Kekuatan Tarik <i>V-belt (σ)</i>	Hasil Perhitungan Rekomendasi Perbaikan Design
	mm	rad	rpm	m/s		T ₁	T ₂	N	N	Mpa (5-8)	
2J0411A	1217	2,678	164,6	6,56	2,23	1371,4	615	64,5	1435,9	6,05	
7S62A	1286	2,620	97,1	3,87	2,19	3052	1394	2,4	3074,4	12,9	7,8
5L69D	1286	2,620	158,8	6,33	2,19	1445	660,2	60,1	1505,1	6,3	
6P47B	1142	2,53	118,15	4,71	2,13	1943,4	887,4	33,2	1976,6	8,3	5,1
6F0602B	1286	2,620	96,6	3,84	2,19	2383,4	1088,3	22,1	2405,5	10,1	6,1
5R83A	1142	2,53	119,11	4,74	2,13	1931,1	881,7	33,7	5952,2	25,1	5,1
3N39C	1142	2,53	101,13	4,02	2,13	2276,7	1039,6	24,2	2300,9	9,7	5,8
3S41A	1286	2,620	134,36	5,35	2,19	1282,8	585,7	42,9	1325,7	5,5	
4S79C	1286	2,620	159,7	6,36	2,19	1439,1	657,1	60,66	1499,7	6,3	
6P83A	1142	2,53	119,11	4,74	2,13	1930,8	881,6	33,6	1964,4	8,2	5,1

Bentuk-bentuk Kegagalan *V-belt* hasil Penelitian

1. Retak (Crack)

Retak merupakan kegagalan awal yang terjadi pada permukaan atau sisi dalam *v-belt*. Retakan biasanya muncul sebagai garis halus memanjang atau melintang pada permukaan karet sabuk (Bhandari, 2010). Penyebab terjadinya retak:

- Tegangan tarik siklik yang menyebabkan kelelahan material
- Penuaan karet akibat panas dan oksidasi
- Tekanan berulang saat sabuk masuk dan keluar dari alur *pulley*



Gambar 1. V-belt Retak

2. Keausan (Aus)

Keausan terjadi pada permukaan sisi v-belt yang bersentuhan dengan alur pulley. Permukaan menjadi licin, menipis, dan kehilangan bentuk profil aslinya. Penyebab terjadinya (Bhandari, 2010):

- Gesekan terus-menerus antara sabuk dan *pulley*.
- Kontaminasi debu, pasir, atau partikel abrasif.
- Ketidaksejajaran *pulley* yang menyebabkan kontak tidak merata.



Gambar 2. V-belt Aus

3. Slip

Slip terjadi ketika *V-belt* tidak mampu mentransmisikan daya secara optimal sehingga terjadi perbedaan kecepatan antara sabuk dan *pulley*. Ketika slip terjadi dan terus dipaksakan beroperasi, maka akan mengakibatkan *v-belt* terbakar (Bhandari, 2010). Penyebab terjadinya:

- Tegangan awal sabuk tidak mencukupi.
- Permukaan *pulley* licin atau terkontaminasi oli.
- Sudut lilit efektif yang kecil.
- Keausan sabuk.



Gambar 3. V-belt Slip

4. Putus

Putus merupakan bentuk kegagalan paling parah, di mana *v-belt* tidak lagi mampu menahan beban tarik sehingga terjadi patah total (Bhandari, 2010). Penyebab terjadinya:

- Akumulasi kelelahan material akibat beban siklik.

- Propagasi retak yang tidak terdeteksi.
- Beban kejut (shock load).
- Konsentrasi tegangan akibat misalignment.



Gambar 4. V-belt Putus

Keempat bentuk kegagalan tersebut saling berkaitan dan biasanya terjadi secara berurutan:

Aus → Slip → Panas → Crack → Putus

Artinya, kegagalan *v-belt* umumnya bukan kejadian tiba-tiba, tetapi merupakan hasil dari proses degradasi bertahap.

Faktor-faktor Penyebab Kegagalan *V-belt*

1. Pengaruh Beban Siklik

Beban siklik adalah beban yang berubah-ubah secara periodik, bukan konstan. Pada pumping unit:

- Saat batang pompa naik → menghasilkan beban besar
- Saat turun → menghasilkan beban kecil
- Terjadi ribuan siklus setiap hari

Secara terus menerus, sehingga berdampak:

- Terjadi **fatigue material**
- Mikroretak muncul di serat sabuk
- Retak berkembang → crack → putus

2. Pengaruh Degradasi Material

V-belt terbuat dari:

- Karet elastomer
- Serat penguat (cord)

Material ini mengalami aging, oksidasi, panas, uv. Sehingga berdampak kepada permukaan *v-belt* seperti:

- Karet mengeras
- Elastisitas menurun
- Ikatan molekul rusak
- Permukaan retak

3. Pengaruh Ketidaksejajaran *Pulley* (Misalignment)

Pengaruh Misalignment bisa berupa:

- Angular misalignment
- Parallel misalignment

Dampak langsung:

- Sabuk tidak duduk merata
- Tegangan terkonsentrasi di satu sisi
- Terjadi keausan tidak merata
- Timbul panas lokal

4. Pengaruh Kondisi Lingkungan Operasi

Kondisi lingkungan operasi menjadi faktor kegagalan *v-belt* karena mempengaruhi koefisien gesek, sifat mekanik material, serta mempercepat kerusakan akibat beban siklik, sehingga umur pakai sabuk menurun signifikan dibandingkan kondisi standar. Beberapa faktor kondisi lingkungan sebagai berikut (Bhandari, 2010):

Temperatur Tinggi:

- Menurunkan kekuatan karet
- Mempercepat penuaan material
- Memicu slip → panas → *runaway thermal*

Debu & Pasir:

- Mengikis permukaan sabuk
- Mengurangi gesekan
- Menyebabkan slip

Oli & Air:

- Menurunkan koefisien gesek
- Sabuk mudah selip
- Tegangan efektif turun

Kelembaban:

- Mempercepat degradasi elastomer
- Memicu korosi pada *pulley*

5. Pengaruh *Pulley* Aus Terhadap Kegagalan *V-belt*

Pulley yang mengalami keausan menyebabkan perubahan profil alur sehingga distribusi tekanan kontak antara *pulley* dan sabuk menjadi tidak merata. Kondisi ini menurunkan gaya gesek efektif, meningkatkan slip, serta menimbulkan konsentrasi tegangan lokal pada sabuk. Akibatnya, proses kelelahan material dan degradasi termal berlangsung lebih cepat, sehingga *v-belt* mengalami kegagalan meskipun hasil perhitungan desain menunjukkan kondisi yang aman (Shigley *et al.*, 2015).

Dampak Kegagalan *V-belt*

1. Dampak Terhadap Efisiensi Operasi

Penurunan Efisiensi Transmisi, saat terjadi slip atau keausan:

- Daya motor tidak tersalurkan optimal

- Energi berubah menjadi panas
- Efisiensi mekanis menurun

Konsumsi Energi Meningkat:

Motor bekerja lebih keras untuk menghasilkan output yang sama sehingga menyebabkan konsumsi listrik meningkat.

2. Dampak Terhadap *Downtime*

Downtime tidak terencana dikarenakan *v-belt* mengalami putus mendadak:

- Operasi berhenti total
- Risiko keterlambatan produksi
- Kehilangan output

3. Dampak Terhadap Komponen Lain

Kegagalan *v-belt* dapat menyebabkan kerusakan pada beberapa komponen lain.

Tabel 3. Efek Kegagalan *V-belt*

Komponen	Dampak
<i>Pulley</i>	<i>Aus, glazing, pitting</i>
Poros	Beban kejut
Bantalan	Umur turun akibat beban radial
<i>Gearbox</i>	<i>Stuck</i>
Motor	<i>Overload, panas, Burning out</i>
Rangka	<i>Fatigue</i>

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kegagalan *v-belt* pada sistem transmisi pumping unit yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Bentuk-bentuk kegagalan *v-belt* yang umum terjadi pada pumping unit meliputi retak (*crack*), keausan (*wear*), slip, dan putus. Faktor penyebab kegagalan *v-belt* tidak hanya berasal dari aspek desain teknis, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi operasional dan lingkungan kerja. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan tarik *v-belt* di beberapa lokasi melebihi tegangan izin *v-belt* yaitu 5-8 MPa. Setelah dilakukan perhitungan rekomendasi perbaikan dengan memperbesar diameter *pulley* kecil dari 3-4 inch menjadi 7 inch, maka nilai kekuatan tarik *v-belt* di beberapa lokasi tersebut sudah dibatas aman rekomendasi desain. Kegagalan *v-belt* berdampak langsung terhadap penurunan efisiensi operasi akibat slip dan kehilangan daya, meningkatkan *downtime* baik terencana maupun tidak terencana, serta memperbesar potensi kerusakan komponen lain seperti *pulley*, poros, bantalan, dan motor penggerak.

DAFTAR PUSTAKA

- Smith, B., & Jones, L. (2018). *Industrial pumping systems: Operation and Maintenance*. New York: McGraw-Hill.
- Rahman, H., Yusuf, R., & Siregar, F. (2020). *Design and efficiency of V-belt drive in industrial applications*. Journal of Engineering Technology, 11(2), 77–83.
- Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2001). *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.
- Widodo, A., & Supriyadi, E. (2021). *Evaluasi performa dan kegagalan transmisi sabuk pada unit pemompaan industri*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa, 5(1), 44–50.
- Zhang, Q., Wang, Y., & Chen, T. (2019). *Economic impact of equipment failure in oilfield pumping systems*. Energy Economics Journal, 31(4), 211–218.
- Hernandez, A., & Lopez, M. (2017). *Failure analysis of V-belt in mechanical transmission systems*. Journal of Mechanical Engineering, 45(3), 123–129.
- Bhandari, V. B. (2010). *Design of Machine Elements*, Tata McGraw-Hill.
- PSG College of Technology. (2012). *PSG Design Data Book* (Section: Belt Drives). Coimbatore: PSG College of Technology.
- Gates Rubber Company. (2014). *V-belt Drive Design Manual*. Denver, CO: Gates Rubber Company.