

## BAB IV HASIL ANALISA TEGANGAN

### 4.1 Hasil Simulasi

Untuk hasil simulasi yang didapatkan dari pembebanan yang diberikan kepada kopler kereta api adalah berupa distribusi tegangan von mises, *safety factor* dan umur komponen.

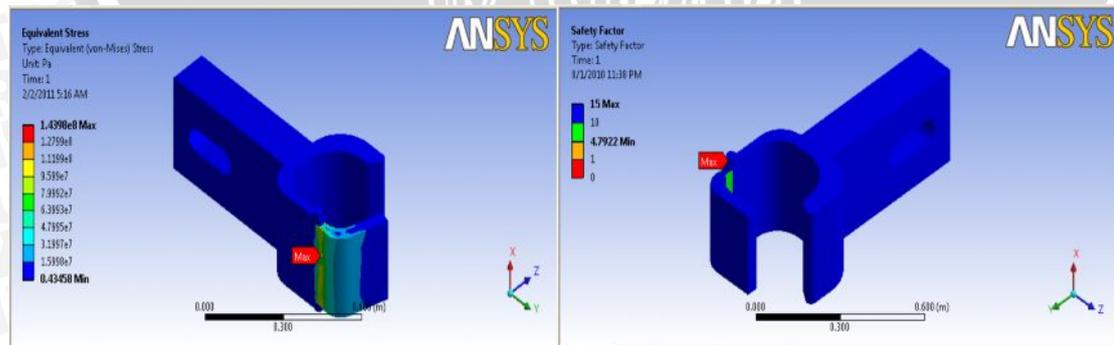
Hasil simulasi pembebanan gaya tarik dan gaya tekan disini berupa distribusi tegangan dari tiap bagian kopler. Hasil distribusi tegangan berupa tegangan von mises untuk mendapatkan tegangan maksimum dari hasil pembebanan.

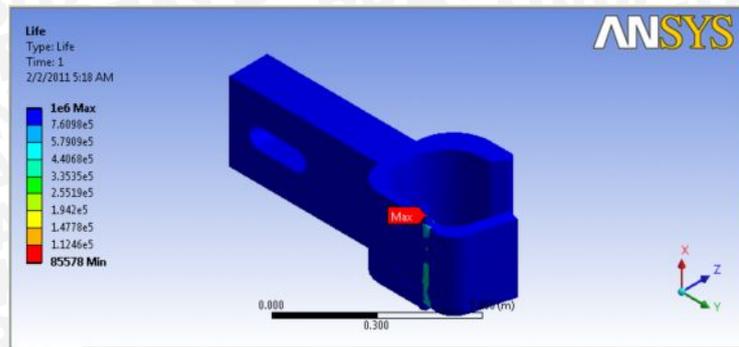
*Safety factor* merupakan tingkat keamanan dari suatu material yang mendapatkan beban. Semakin besar *safety factor* yang dimiliki material tersebut, maka semakin baik pula material tersebut mendapatkan pemabanan.

Umur dari *knuckle* juga dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang diterima pada tegangan tersebut. Jika dalam intensitas siklus tegangan yang sama, maka semakin besar tegangan yang diterima, maka semakin pendek pula umur dari kopler tersebut. Selain itu, konsentrasi tegangan juga ikut menentukan umur dari kopler tersebut. Pada daerah konsentrasi tegangan, maka daerah tersebut memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan dengan bagian lain.

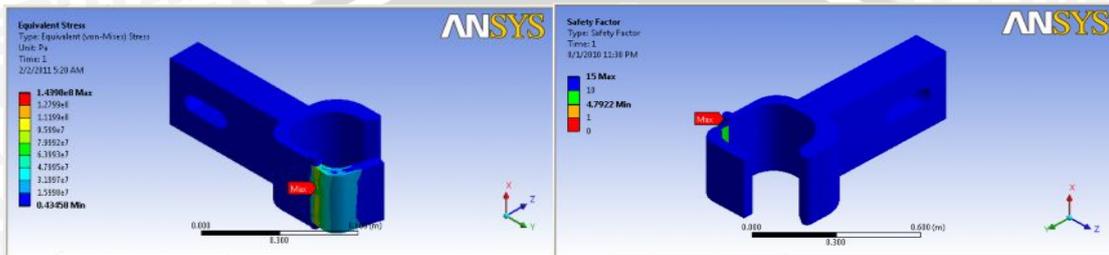
#### 4.1.1 Kopler Kereta Api

Hasil distribusi tegangan yang terjadi pada kopler akibat adanya pembebanan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pada saat gradient kemiringan rel 0 ‰, 5 ‰, dan 10 ‰ sedangkan untuk kondisi sambungan rel adalah sambungan rel berupa las dan sambungan rel berupa baut.





(a)

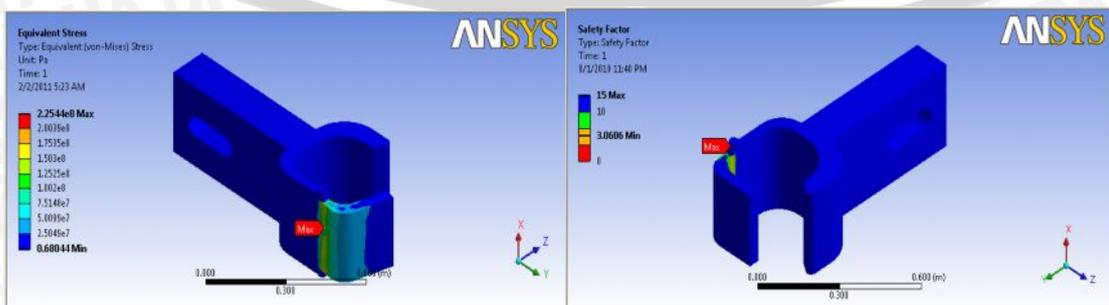


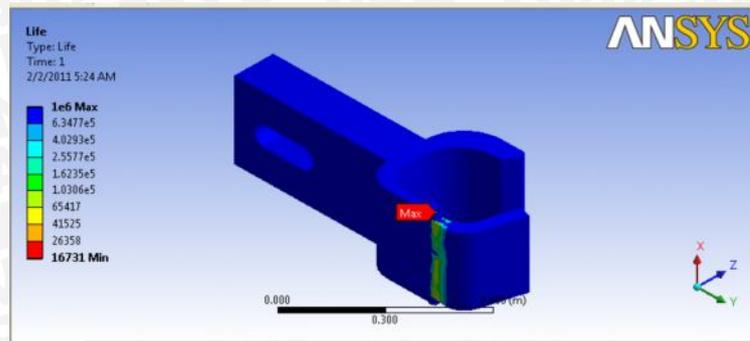
(b)

Gambar 4.1 Distribusi Tegangan, *Safety factor* dan Umur Kopler Kereta Api pada Gradient Kemiringan 0 ‰, (a) Sambungan Rel Berupa Las, (b) Sambungan Rel Berupa Baut

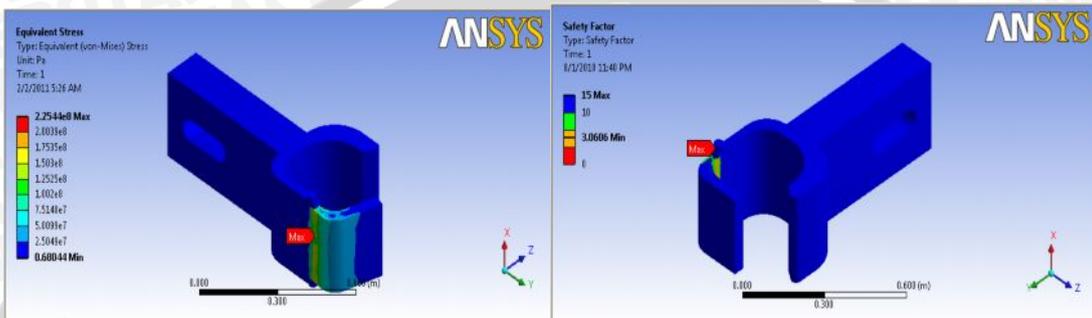
Dari gambar 4.1, dapat dilihat bahwa tegangan terbesar yang diterima kopler adalah  $1.4398 \times 10^8$  MPa, yaitu pada kondisi adanya sambungan rel berupa baut.

Dengan adanya peningkatan gradient kemiringan, maka tegangan yang dihasilkan oleh kopler juga meningkat. Hal ini dapat dibuktikan pada gambar di bawah ini :





(a)

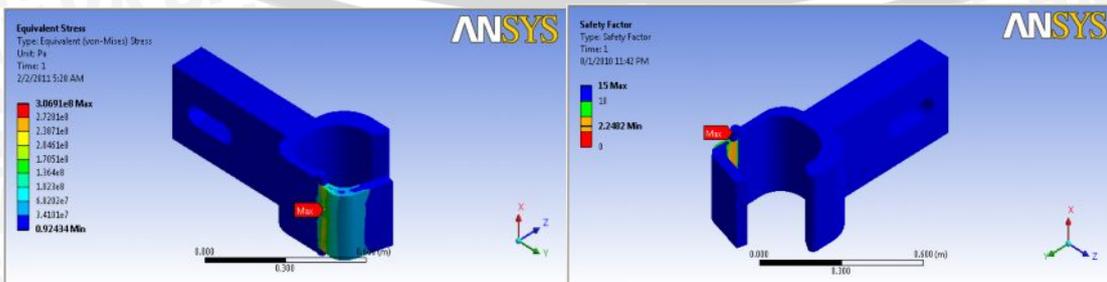


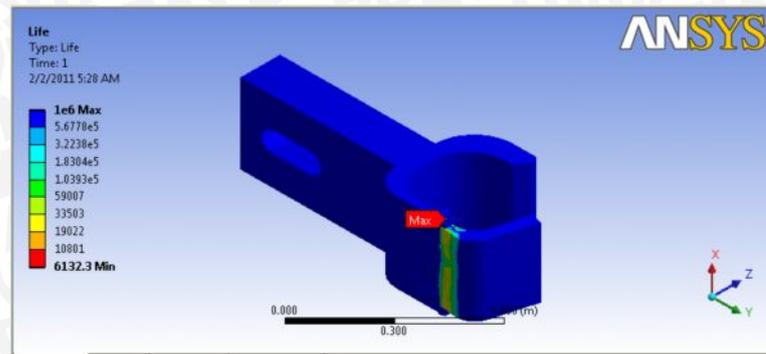
(b)

Gambar 4.2 Distribusi Tegangan, *Safety factor* dan Umur Kopler Kereta Api pada Gradient Kemiringan 5<sup>o</sup>/<sub>00</sub>, (a) Sambungan Rel Berupa Las, (b) Sambunga Rel Berupa Baut

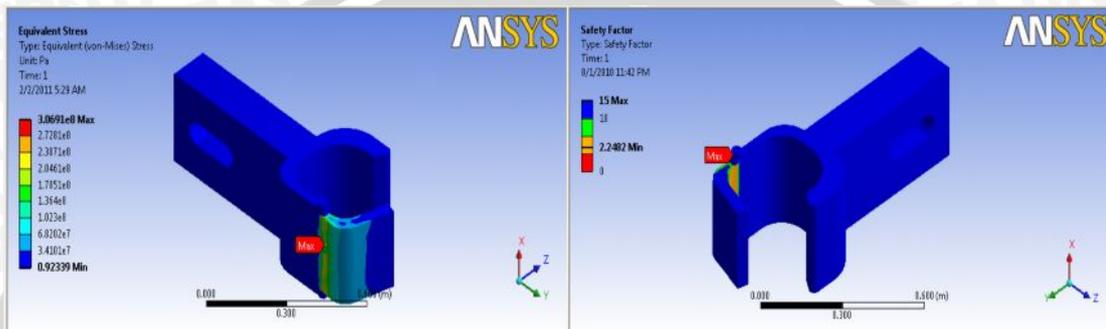
Dalam gambar 4.2, dapat diketahui bahwa tegangan terbesar terjadi pada saat adanya sambungan rel berupa baut, yaitu sebesar  $2.2544 \times 10^8$  Pa.

Pada gradient kemiringan 10<sup>o</sup>/<sub>00</sub>, maka tegangan yang terjadi juga akan lebih besar dibandingkan sebelumnya. Sebagaimana terlihat pada gambar 4.3.





(a)



(b)

Gambar 4.3 Distribusi Tegangan, *Safety factor* dan Umur Kopler Kereta Api pada Gradient Kemiringan 10 ‰. (a) Sambungan Rel Berupa Las, (b) Sambunga Rel Berupa Baut

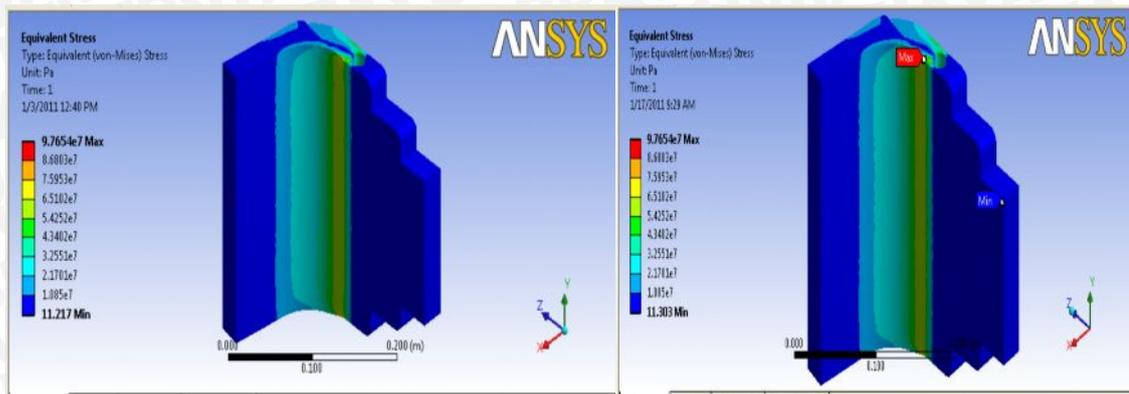
Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa tegangan terbesar terjadi pada saat adanya sambungan rel baut yaitu sebesar  $3.2544 \times 10^8$  Pa.

#### 4.1.1.1 Pembebanan dengan gradient kemiringan 0 ‰

##### a) Distribusi Tegangan Pada *Knuckle*

Adapun hasil tegangan von mises dan distribusinya pada gradient kemiringan 0 ‰ dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

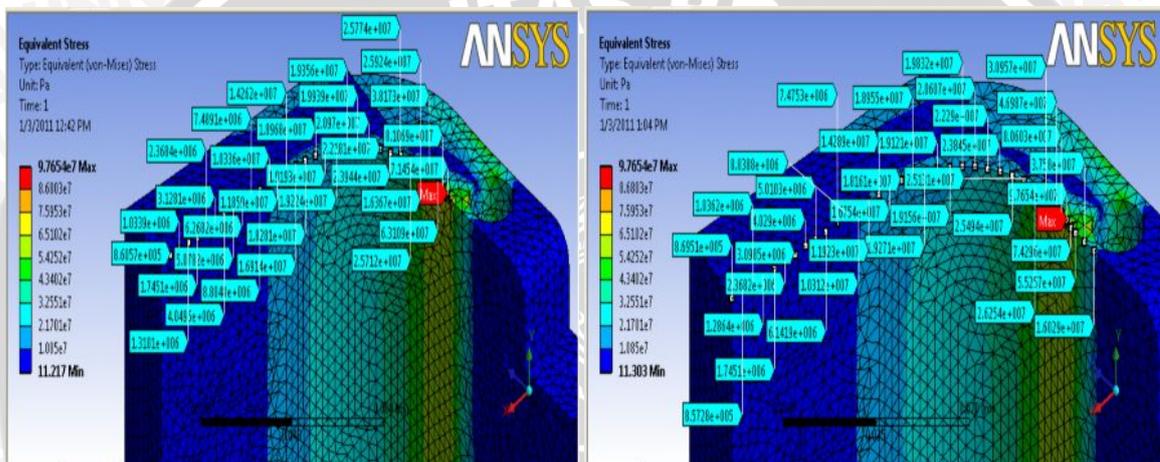




(a)

(b)

Gambar 4.4 Kontur Tegangan Pada Komponen *Knuckle* Kopler Pada Gradient Kemiringan  $0^\circ/00$ , (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



(a)

(b)

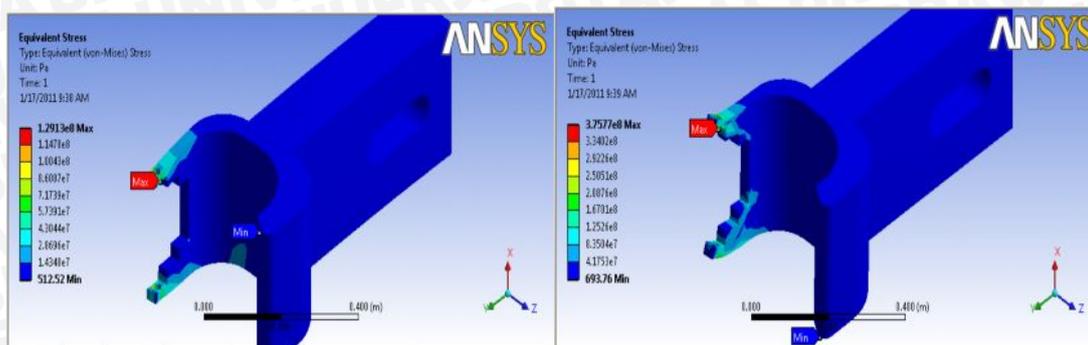
Gambar 4.5 Distribusi Tegangan Pada Komponen *Knuckle* Kopler Pada Gradient Kemiringan  $0^\circ/00$ , (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa bagian yang berwarna biru merupakan bagian yang mengalami tegangan terkecil sedangkan bagian yang warna merah merupakan bagian yang mendapatkan tegangan maksimal. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *knuckle* adalah sebesar 11.217 Pa untuk sambungan rel berupa las (gambar 4.4 (a)) dan untuk sambungan rel berupa baut memiliki tegangan minimum sebesar 11.303 Pa (gambar 4.5 (b)), sedangkan tegangan maksimal *knuckle* adalah sebesar  $9.765 \times 10^7$  Pa untuk sambungan rel berupa las dan untuk sambungan rel berupa baut memiliki tegangan maksimum yang sama yaitu sebesar  $9.765 \times 10^7$  Pa.

#### (b) Distribusi Tegangan Pada *Coupler shank*

Dalam menjalankan fungsinya yang menghubungkan gerbong dengan *knuckle*, maka *coupler shank* juga akan mendapatkan tegangan akibat gaya tarik dan gaya tekan pada saat kereta api berjalan ataupun mengurangi kecepatan. Adapun tegangan yang

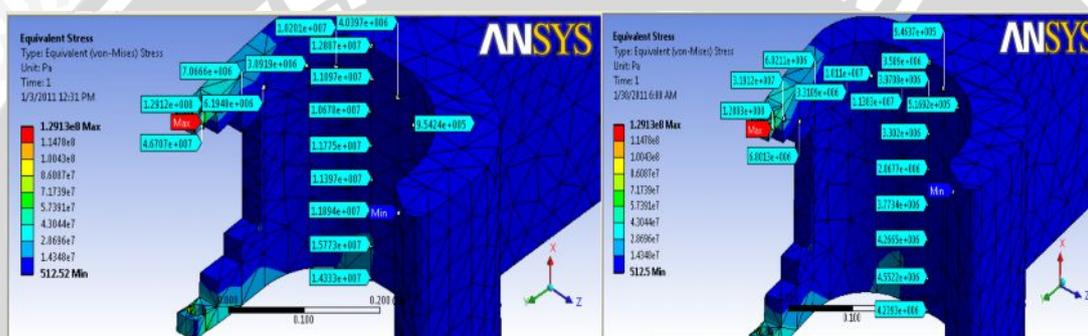
diterima oleh *coupler shank* pada saat rel datar atau tidak ada tanjakan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



(a)

(b)

Gambar 4.6 Kontur Tegangan Pada *Coupler shank* Kopler Pada Gradient Kemiringan 0<sup>o</sup>/00, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



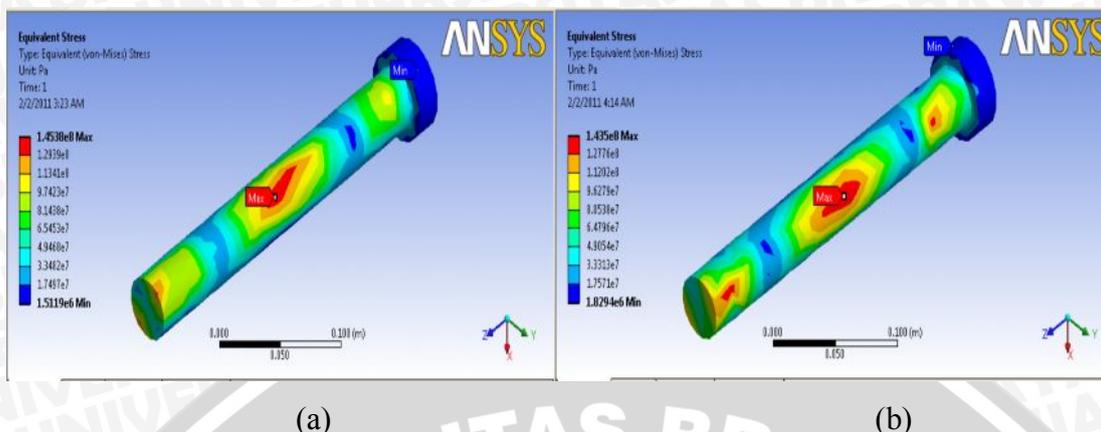
Gambar 4.7 Distribusi Tegangan Pada *Coupler shank* Kopler Pada Gradient Kemiringan 0<sup>o</sup>/00, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa bagian yang berwarna biru merupakan bagian yang mengalami tegangan terkecil sedangkan bagian yang warna merah merupakan bagian yang mendapatkan tegangan maksimal. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *coupler shank* pada saat sambungan rel berupa las adalah sebesar 512.52 Pa, sedangkan tegangan maksimal *coupler shank* adalah sebesar  $1.291 \times 10^8$  Pa. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *coupler shank* pada kondisi sambungan rel baut adalah sebesar 693.76 Pa, sedangkan tegangan maksimal *coupler shank* adalah sebesar  $3.757 \times 10^8$  Pa.

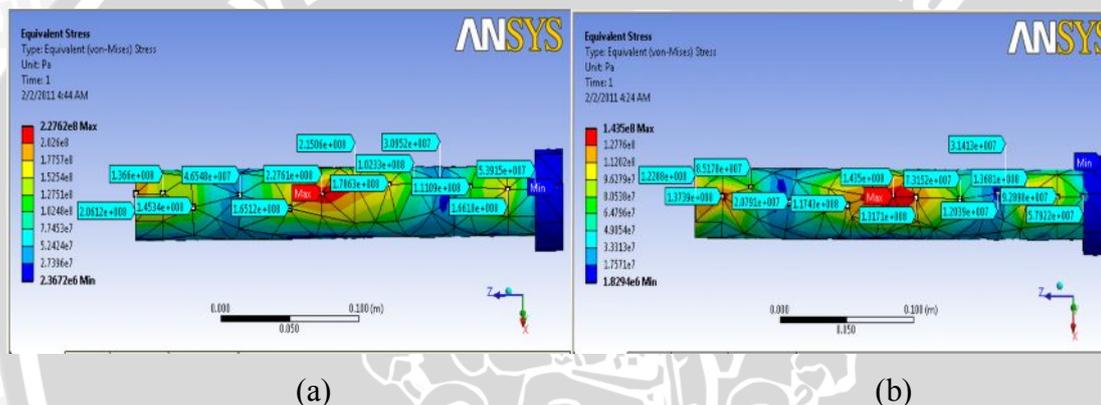
(c) Distribusi Tegangan Pada *Knuckle pin*

*Knuckle pin* memiliki fungsi untuk menghubungkan *knuckle* dan *coupler shank*. *Knuckle pin* juga meneruskan gaya, berupa gaya tarik maupun gaya tekan dari *knuckle* ke *coupler shank*, sehingga kereta api mampu berjalan maupun berhenti. Untuk menjalankan fungsinya tersebut, *knuckle pin* akan mendapatkan tegangan sesuai

dengan gaya yang diterima oleh *knuckle pin* tersebut. Adapun distribusi tegangan yang diterima oleh *knuckle pin* adalah sebagai berikut ;



Gambar 4.8 Kontur Tegangan Pada *Knuckle pin* Kopler Pada Gradient Kemiringan 0<sup>o</sup>/<sub>00</sub>. (a) Sambungan Rel berupa baut, (b) Sambungan Rel berupa las



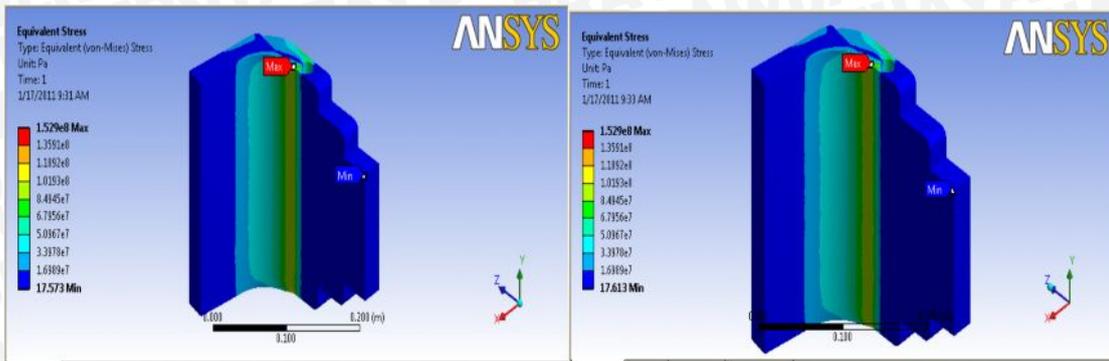
Gambar 4.9 Distribusi Tegangan Pada *Knuckle pin* Kopler Pada Gradient Kemiringan 0<sup>o</sup>/<sub>00</sub>. (a) Sambungan Rel berupa baut, (b) Sambungan Rel berupa las

Tegangan minimum untuk *knuckle pin* pada kondisi sambungan rel berupa baut adalah sebesar  $1.5119 \cdot 10^6$  Pa, sedangkan tegangan maksimal yang diterima oleh *knuckle pin* adalah sebesar  $1.453 \cdot 10^8$  Pa. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *knuckle pin* pada kondisi sambungan rel berupa las adalah sebesar  $1.8294 \cdot 10^6$  Pa, sedangkan tegangan maksimal *knuckle* adalah sebesar  $1.435 \cdot 10^8$  Pa.

#### 4.1.1.2 Pembebanan dengan gradient kemiringan 5<sup>o</sup>/<sub>00</sub>

##### a) Distribusi Tegangan Pada *Knuckle*

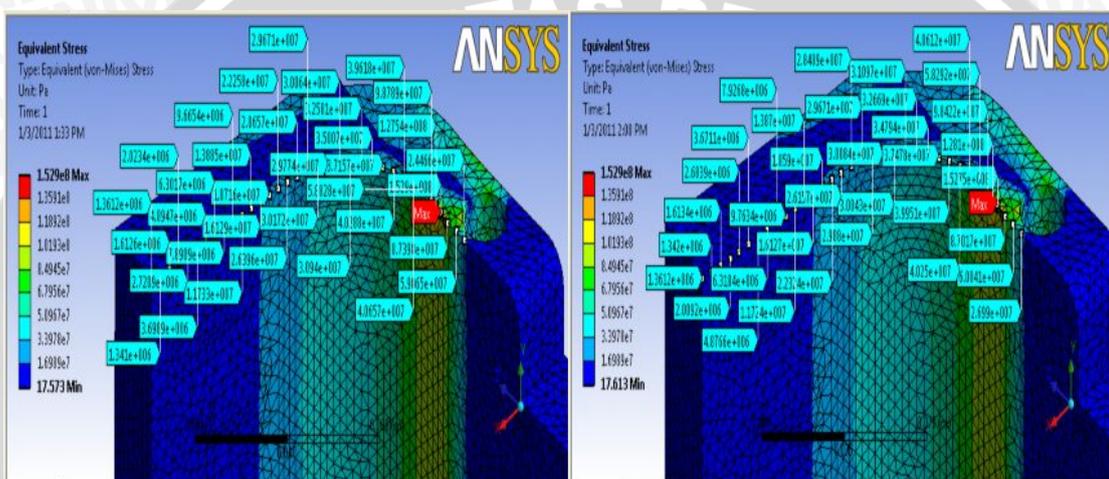
Adapun hasil tegangan von mises dan distribusi tegangannya pada gradient kemiringan 5<sup>o</sup>/<sub>00</sub> dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



(a)

(b)

Gambar 4.10 Kontur Tegangan Pada Komponen *Knuckle* Kopler Pada Gradient Kemiringan  $5^\circ$ , (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



(a)

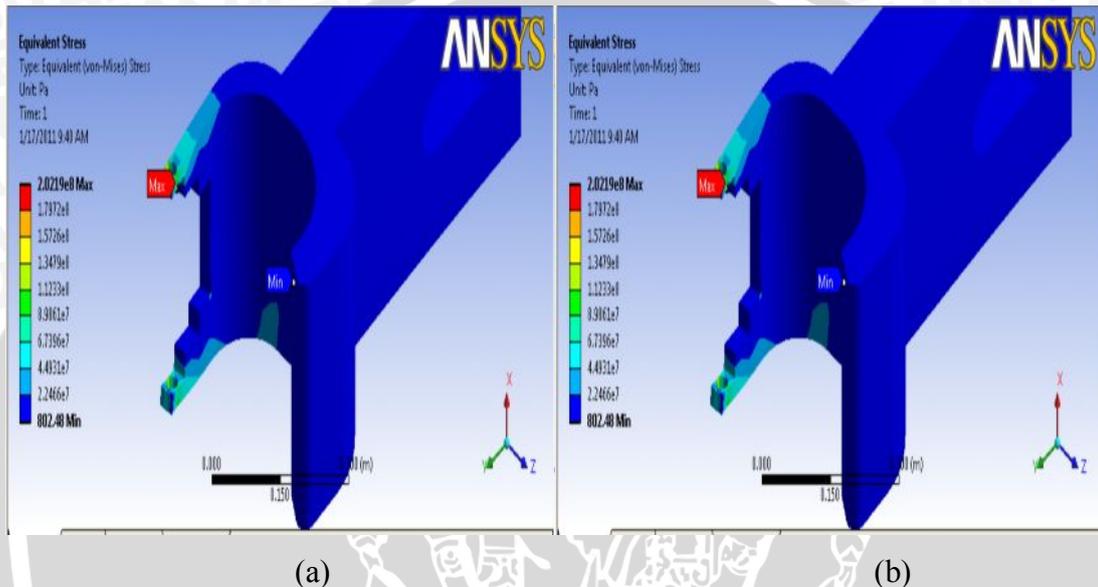
(b)

Gambar 4.11 Distribusi Tegangan Pada Komponen *Knuckle* Kopler Pada Gradient Kemiringan  $5^\circ$ , (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

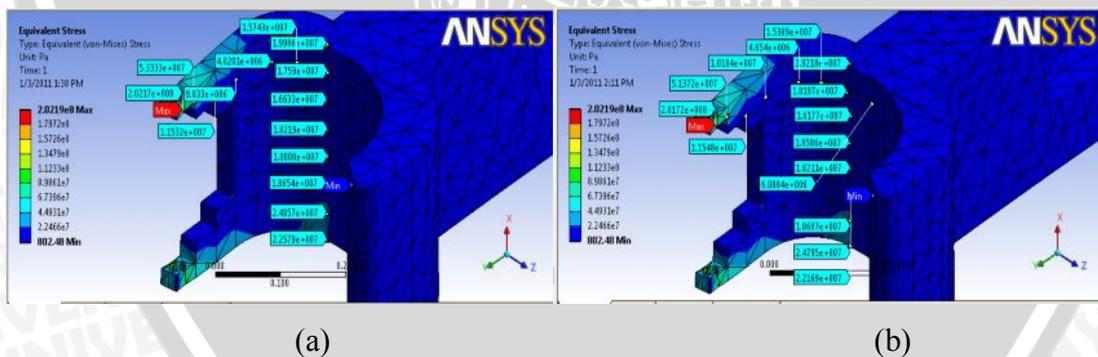
Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa bagian yang berwarna biru merupakan bagian yang mengalami tegangan terkecil sedangkan bagian yang warna merah merupakan bagian yang mendapatkan tegangan maksimal. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *knuckle* adalah sebesar 17.573 Pa untuk sambungan rel berupa las (gambar 4.10 (a)) dan untuk sambungan rel berupa baut memiliki tegangan minimum sebesar 17.613 Pa (gambar 4.11 (b)), sedangkan tegangan maksimal *knuckle* adalah sebesar  $1.529 \times 10^8$  Pa untuk sambungan rel berupa las dan untuk sambungan rel berupa baut memiliki tegangan maksimum yang sama yaitu sebesar  $1.529 \times 10^8$  Pa.

(b) Distribusi Tegangan Pada *Coupler shank*

Dalam menjalankan fungsinya yang menghubungkan gerbong dengan *knuckle*, maka *coupler shank* juga akan mendapatkan tegangan akibat gaya tarik dan gaya tekan pada saat kereta api berjalan ataupun mengurangi kecepatan. Adapun tegangan yang diterima oleh *coupler shank* pada saat gradient kemiringan 5 ‰ dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.12 Kontur Tegangan Pada *Coupler shank* Kopler Pada Gradient Kemiringan 5 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



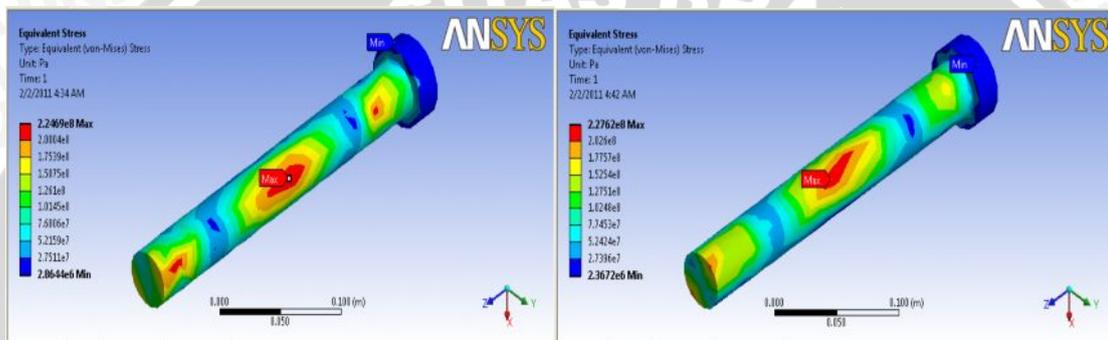
Gambar 4.13 Distribusi Tegangan Pada *Coupler shank* Kopler Pada Gradient Kemiringan 5 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa bagian yang berwarna biru merupakan bagian yang mengalami tegangan terkecil sedangkan bagian yang warna merah merupakan bagian yang mendapatkan tegangan maksimal. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *coupler shank* pada saat sambungan rel berupa las adalah sebesar 802.48 Pa, sedangkan tegangan maksimal *coupler shank* adalah sebesar

$2.0219 \times 10^8$  Pa. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *coupler shank* pada kondisi sambungan rel baut adalah sebesar 802.48 Pa, sedangkan tegangan maksimal *coupler shank* adalah sebesar  $3.757 \times 10^8$  Pa.

(c) Distribusi Tegangan Pada *Knuckle pin*

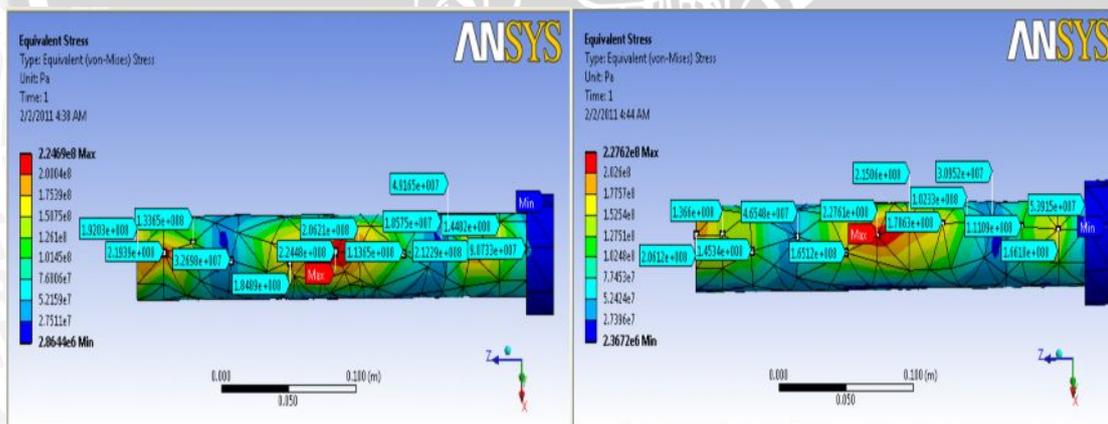
*Knuckle pin* memiliki fungsi untuk menghubungkan *knuckle* dan *coupler shank*. *Knuckle pin* juga meneruskan gaya, berupa gaya tarik maupun gaya tekan dari *knuckle* ke *coupler shank*, sehingga kereta api mampu berjalan maupun berhenti. Untuk menjalankan fungsinya tersebut, *knuckle pin* akan mendapatkan tegangan sesuai dengan gaya yang diterima oleh *knuckle pin* tersebut. Adapun distribusi tegangan yang diterima oleh *knuckle pin* adalah sebagai berikut ;



(a)

(b)

Gambar 4.14 Kontur Tegangan Pada *Knuckle pin* Kopler Pada Gradient Kemiringan 5 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



(a)

(b)

Gambar 4.15 Distribusi Tegangan Pada *Knuckle pin* Kopler Pada Gradient Kemiringan 5 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

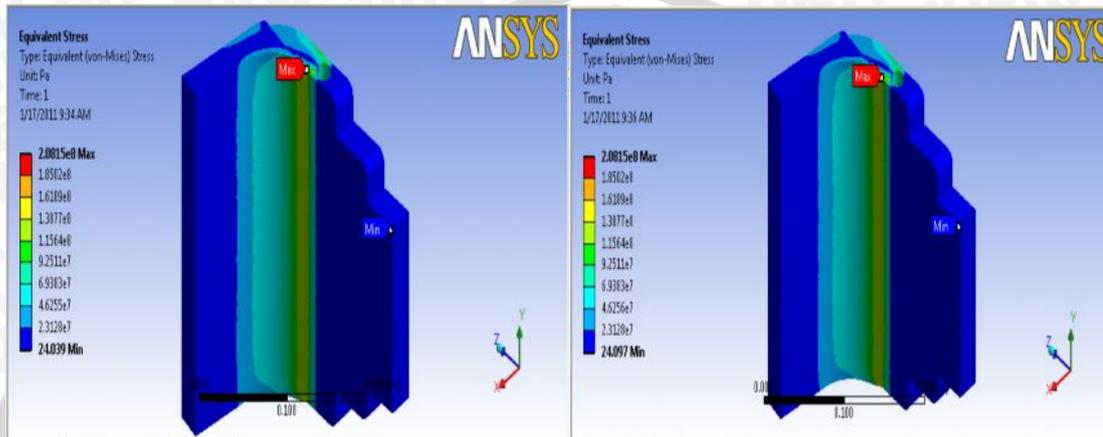
Tegangan minimum untuk *knuckle pin* pada kondisi sambungan rel berupa las adalah sebesar  $2.8644 \cdot 10^6$  Pa, sedangkan tegangan maksimal yang diterima oleh *knuckle pin* sebesar  $2.2469 \cdot 10^8$  Pa. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *knuckle pin* pada kondisi sambungan rel berupa baut adalah sebesar

$2.3672 \cdot 10^6$  Pa, sedangkan tegangan maksimal *knuckle* adalah sebesar  $2.2762 \cdot 10^8$  Pa.

#### 4.1.1.3 Pembebanan dengan gradient kemiringan 10 ‰

##### a) Distribusi Tegangan Pada *Knuckle*

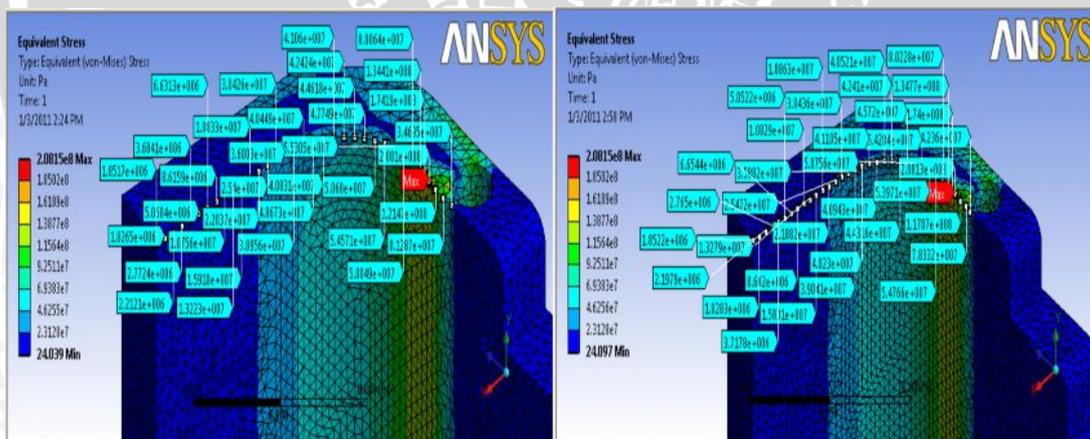
Adapun hasil tegangan von mises dan distribusi tegangannya pada gradient kemiringan 10 ‰ dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



(a)

(b)

Gambar 4.16 Kontur Tegangan Pada Komponen *Knuckle* Kopler Pada Gradient Kemiringan 10 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



(a)

(b)

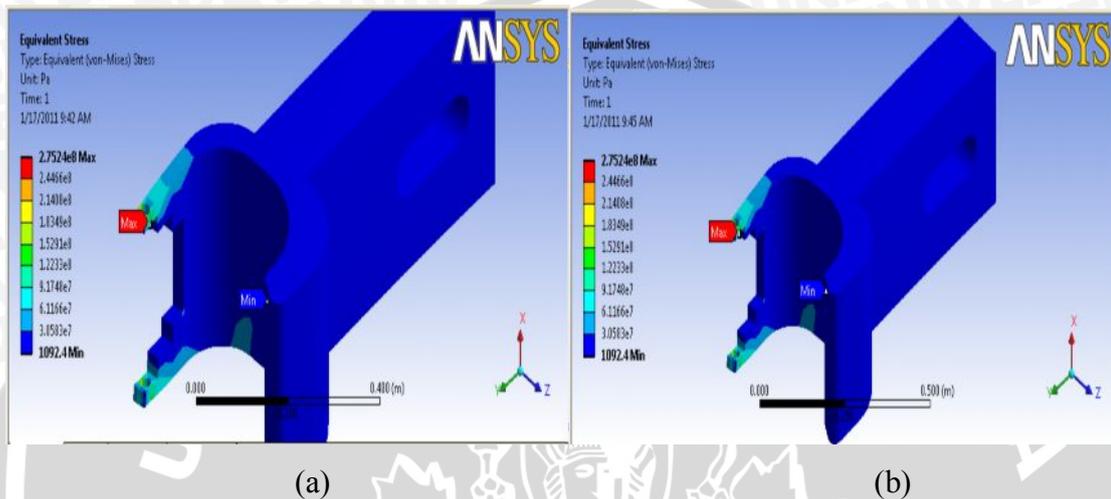
Gambar 4.17 Distribusi Tegangan Pada Komponen *Knuckle* Kopler Pada Gradient Kemiringan 10 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa bagian yang berwarna biru merupakan bagian yang mengalami tegangan terkecil sedangkan bagian yang warna merah merupakan bagian yang mendapatkan tegangan maksimal. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *knuckle* adalah sebesar 24.039 Pa untuk sambungan rel berupa las (gambar 4.17 (a)) dan untuk sambungan rel berupa baut memiliki tegangan minimum sebesar 24.097 Pa (gambar 4.17 (b)), sedangkan tegangan maksimal

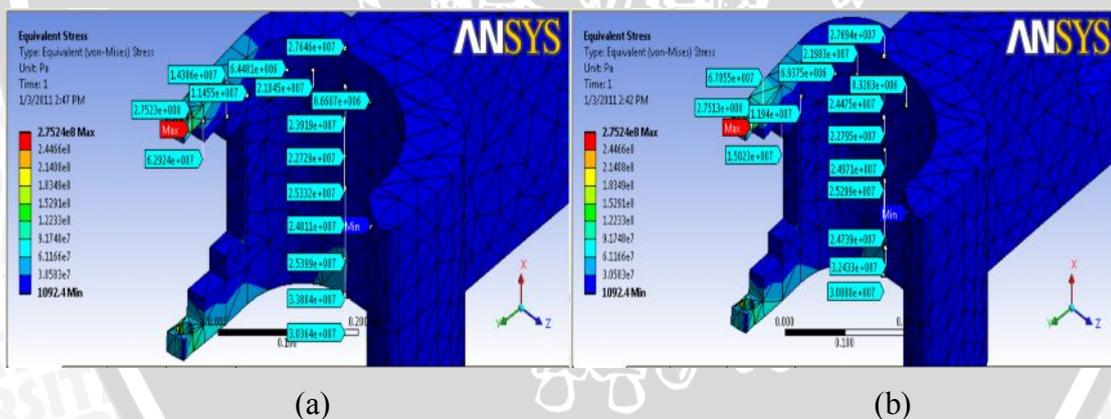
*knuckle* adalah sebesar  $2.0815 \times 10^8$  Pa untuk sambungan rel berupa las dan untuk sambungan rel berupa baut memiliki tegangan maksimum yang sama yaitu sebesar  $2.0815 \times 10^8$ .

(b) Distribusi Tegangan Pada *Coupler shank*

Adapun tegangan yang diterima oleh *coupler shank* pada saat gradient kemiringan  $10 \text{ ‰}$  dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.18 Kontur Tegangan Pada *Coupler shank* Kopler Pada Gradient Kemiringan  $10 \text{ ‰}$ , (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



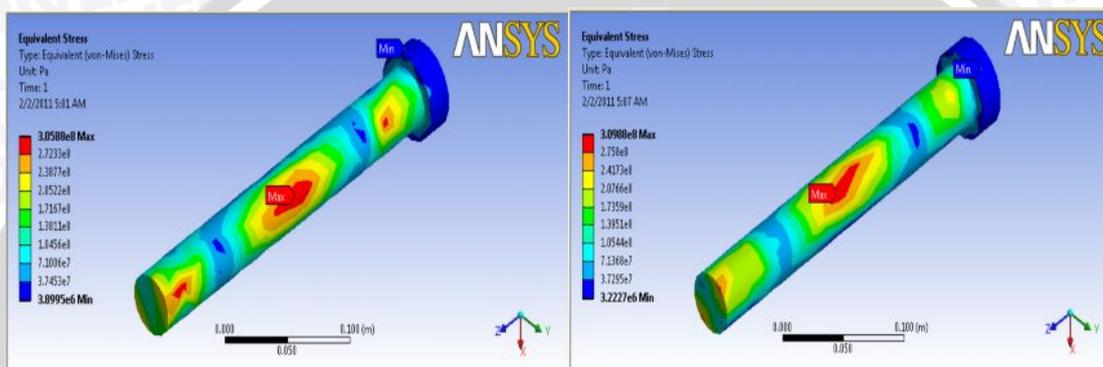
Gambar 4.19 Distribusi Tegangan Pada *Coupler shank* Kopler Pada Gradient Kemiringan  $10 \text{ ‰}$ , (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa bagian yang berwarna biru merupakan bagian yang mengalami tegangan terkecil sedangkan bagian yang warna merah merupakan bagian yang mendapatkan tegangan maksimal. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *coupler shank* pada saat sambungan rel berupa las adalah sebesar 1092.4 Pa, sedangkan tegangan maksimal *coupler shank* adalah sebesar  $2.7524 \times 10^8$  Pa. Adapun besar tegangan minimum yang diterima *coupler shank* pada

kondisi sambungan rel baut adalah sebesar 1092.4 Pa, sedangkan tegangan maksimal *coupler shank* adalah sebesar  $2.7524 \times 10^8$  Pa.

(c) Distribusi Tegangan Pada *Knuckle pin*

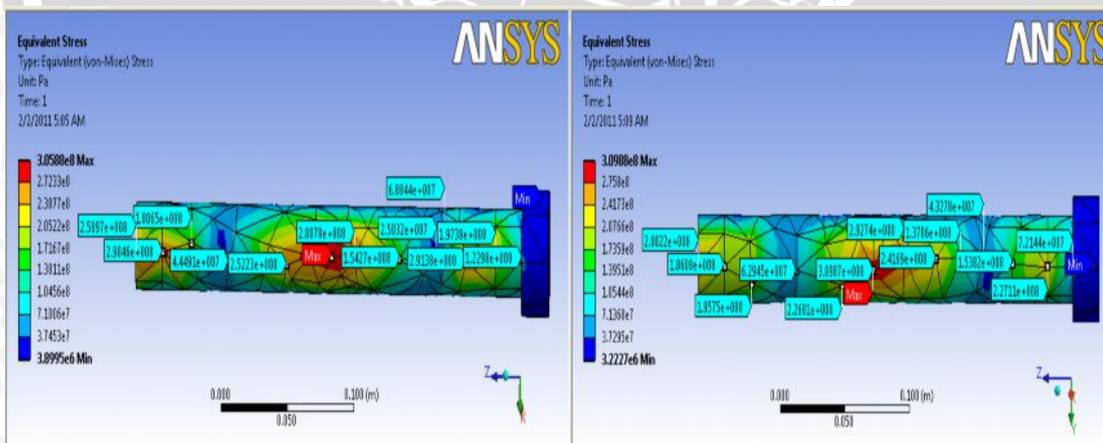
*Knuckle pin* memiliki fungsi untuk menghubungkan *knuckle* dan *coupler shank*. *Knuckle pin* juga meneruskan gaya, berupa gaya tarik maupun gaya tekan dari *knuckle* ke *coupler shank*, sehingga kereta api mampu berjalan maupun berhenti. Untuk menjalankan fungsinya tersebut, *knuckle pin* akan mendapatkan tegangan sesuai dengan gaya yang diterima oleh *knuckle pin* tersebut. Adapun distribusi tegangan yang diterima oleh *knuckle pin* adalah sebagai berikut ;



(a)

(b)

Gambar 4.20 Kontur Tegangan Pada *Knuckle pin* Kopler Pada Gradient Kemiringan 5 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



(a)

(b)

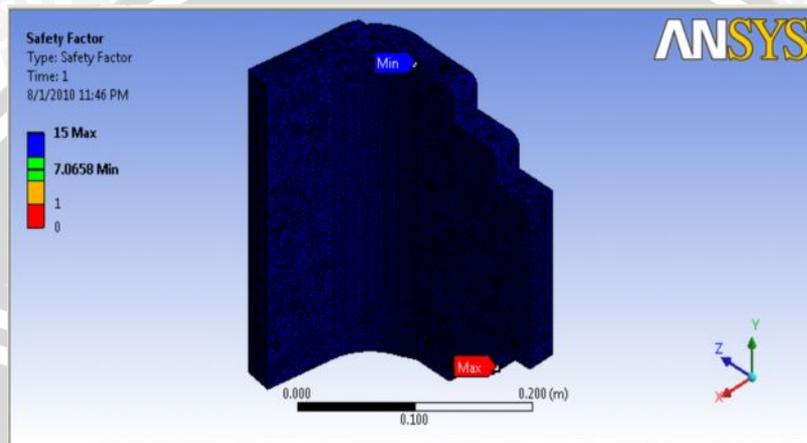
Gambar 4.21 Distribusi Tegangan Pada *Knuckle pin* Kopler Pada Gradient Kemiringan 10 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

Tegangan minimum untuk *knuckle pin* pada kondisi sambungan rel berupa las adalah sebesar  $3.8995 \cdot 10^6$  Pa , sedangkan tegangan maksimal yang diterima oleh *knuckle pin* adalah sebesar  $3.0588 \cdot 10^6$  Pa. Adapun besar tegangan minimum yang

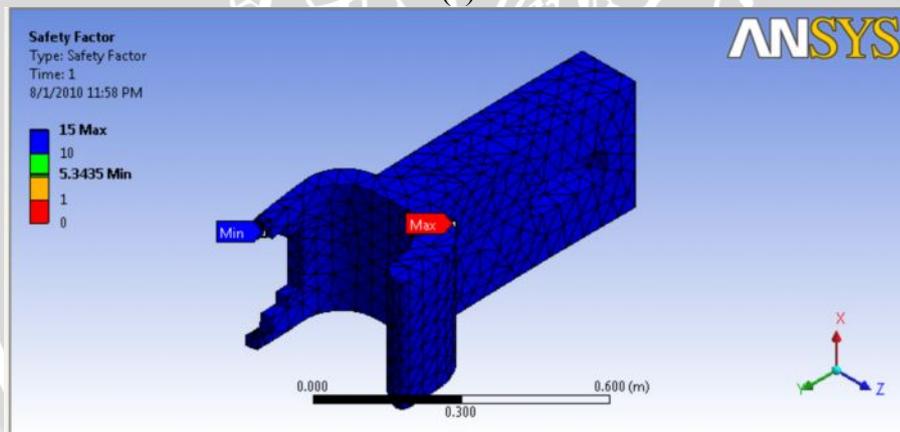
diterima *knuckle pin* pada kondisi sambungan rel berupa baut adalah sebesar  $3.22276 \cdot 10^6$  Pa, sedangkan tegangan maksimal *knuckle* adalah sebesar  $3.0988 \cdot 10^8$  Pa.

#### 4.1.2 Safety factor

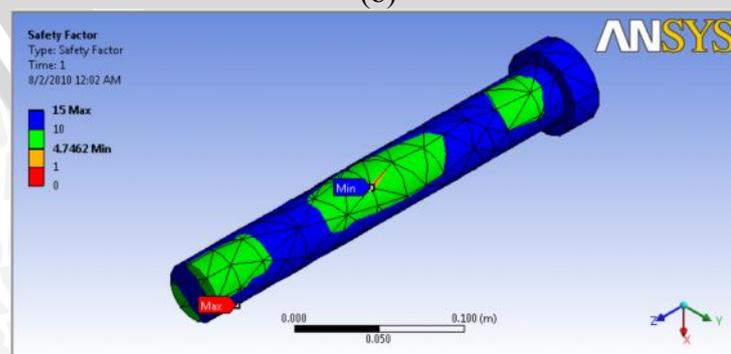
Kopler yang mendapatkan beban akan mendapatkan tegangan yang berbeda dari setiap penampangannya. Hal itu mempengaruhi nilai *safety factor* dari setiap bagian kopler tersebut. Adapun hasil simulasi yang diperoleh untuk *safety factor* adalah sebagai berikut :



(a)



(b)

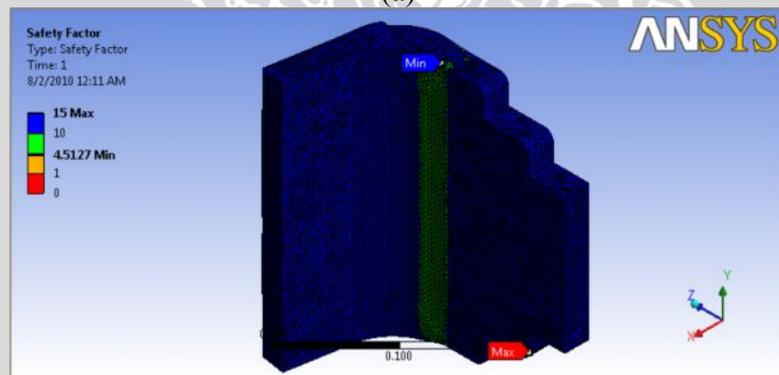
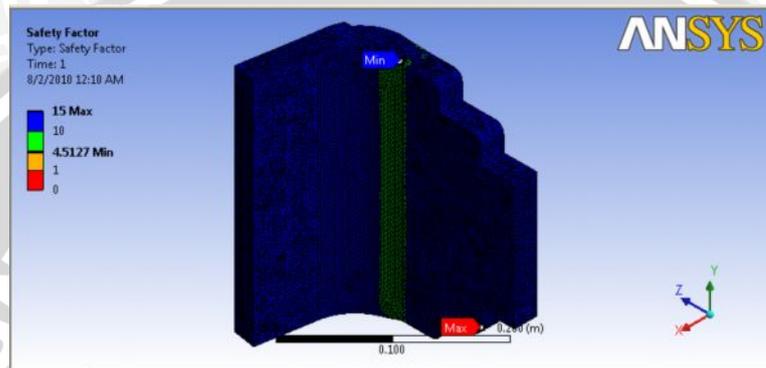


(c)

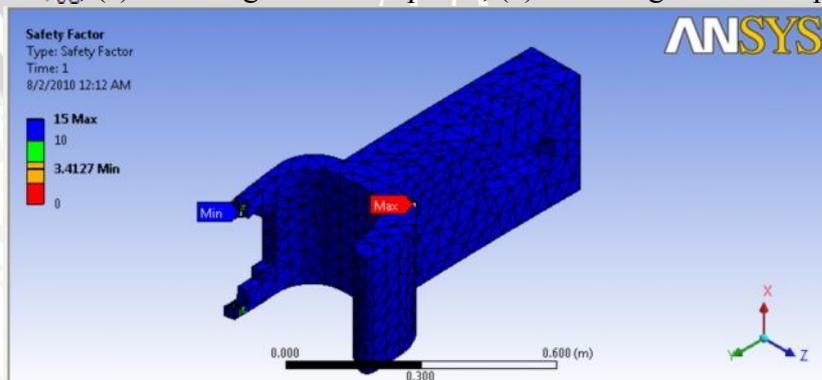
Gambar 4.22 *Safety factor* pada Komponen Kopler Kereta Api Kondisi Tanpa Tanjakan dan Sambungan Rel Berupa Las (a) *Knuckle*, (b) *Coupler shank*, (c) *Knuckle pin*

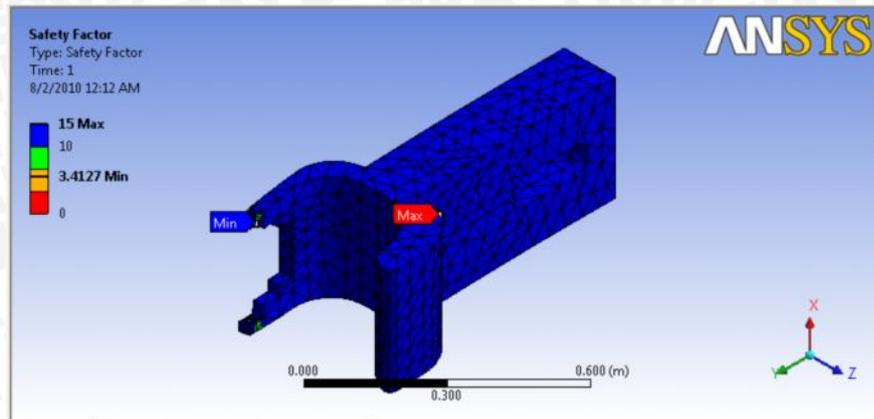
Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa *safety factor* pada setiap bagian memiliki perbedaan. Hal ini tergantung dari tegangan yang diterima oleh bagian tersebut. *Safety factor* terkecil terletak pada komponen *knuckle pin*, yaitu sebesar 4.7462, dibandingkan dengan *coupler shank* (5.3435) dan *knuckle* (7.0658).

Adapun *safety factor* yang didapat akibat adanya sambungan baut pada rel adalah sebagai berikut :



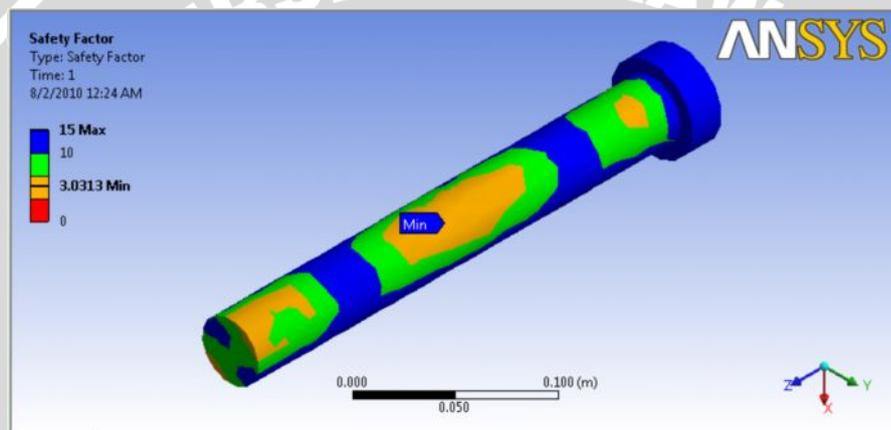
Gambar 4.23 *Safety factor* pada Komponen *Knuckle* Kopler Kereta Api Pada Gradient Kemiringan 5 ‰ (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



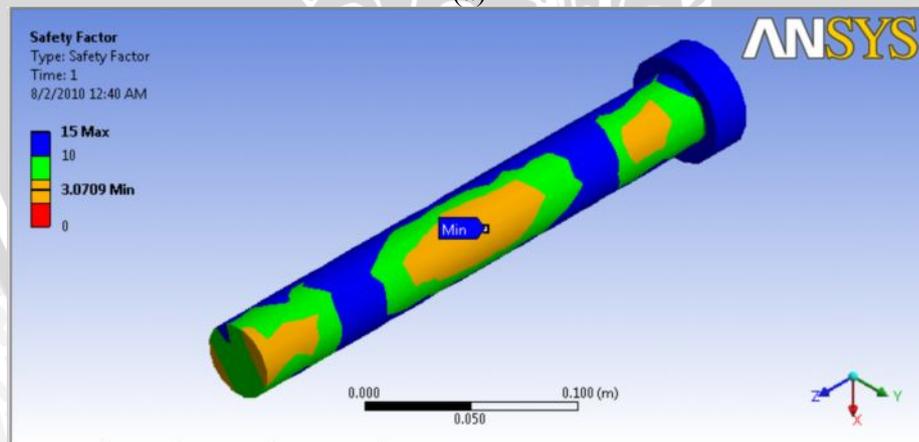


(b)

Gambar 4.24 *Safety factor* pada Komponen *Coupler Shank* Kereta Api Pada Gradient Kemiringan 5 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



(a)

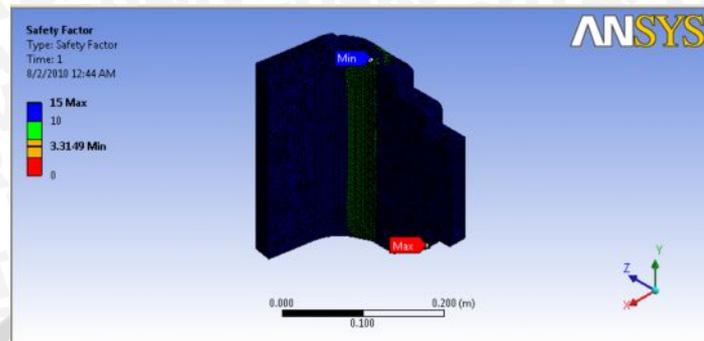


(b)

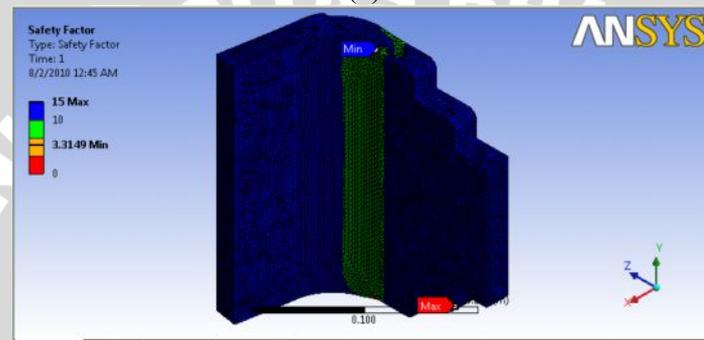
Gambar 4.25 *Safety factor* pada Komponen *Knuckle pin* Kereta Api Pada Gradient Kemiringan 5 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

Dari gambar 4.25 dapat diketahui bahwa pada gradient kemiringan 5 ‰ *safety factor* terkecil *knuckle* yaitu 4.5127. Untuk komponen *coupler shank*, *safety factor* terkecil yaitu sebesar 3.4127. Hal ini terjadi juga pada *knuckle pin*, yang mana memiliki *safety factor* sebesar 3.0709 yaitu pada saat kondisi sambungan rel berupa baut.

Untuk penambahan gradient kemiringan sebesar 10 ‰ akan memberikan perubahan pada *safety factor* dari komponen kopler. *Safety factor* pada komponen kopler dengan adanya gradient kemiringan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

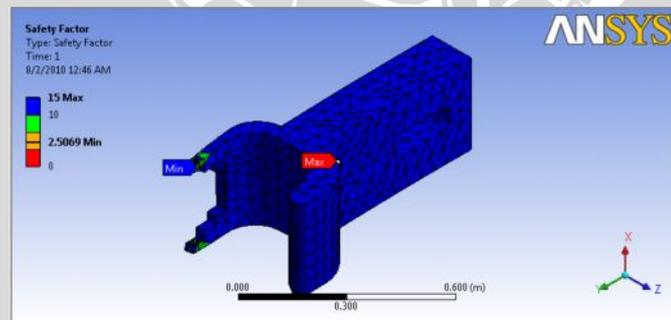


(a)

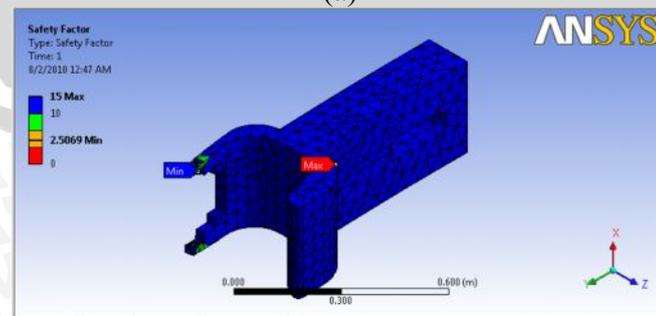


(b)

Gambar 4.26 *Safety factor* pada Komponen *Knuckle* Kereta Api Pada Gradient Kemiringan 10 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

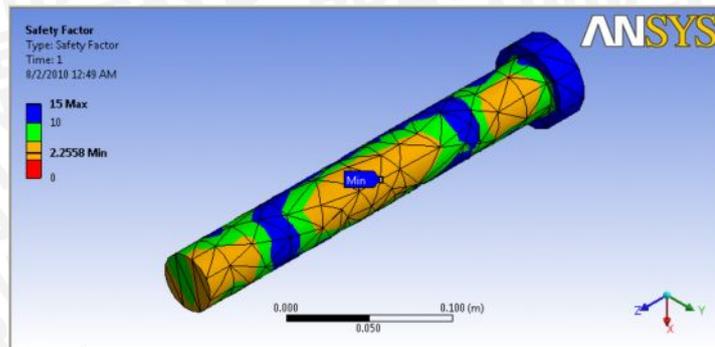


(a)

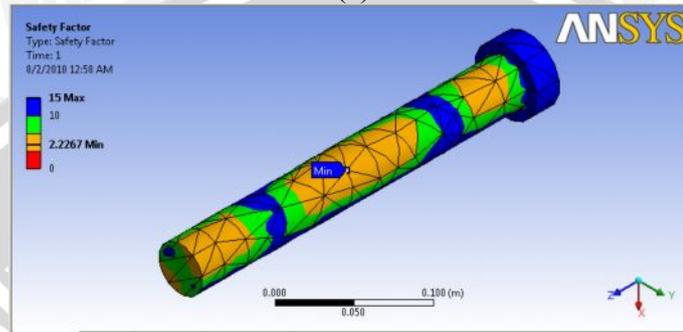


(b)

Gambar 4.27 *Safety factor* pada Komponen *Coupler shank* Pada Gradient Kemiringan 10 ‰, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut



(a)



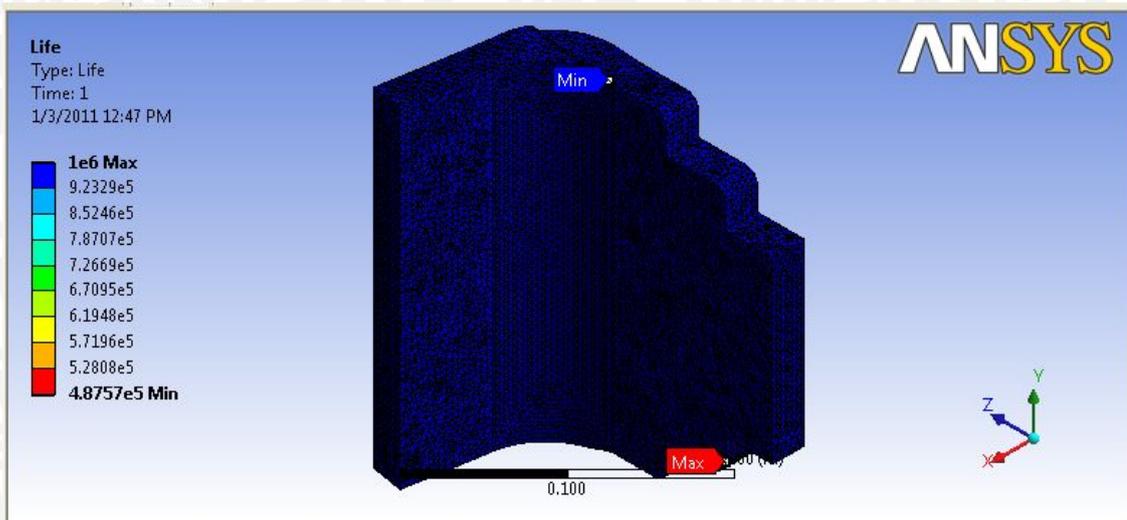
(b)

Gambar 4.28 *Safety factor* pada Komponen *Knuckle pin* Pada Gradient Kemiringan 10<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, (a) Sambungan Rel berupa las, (b) Sambungan Rel berupa baut

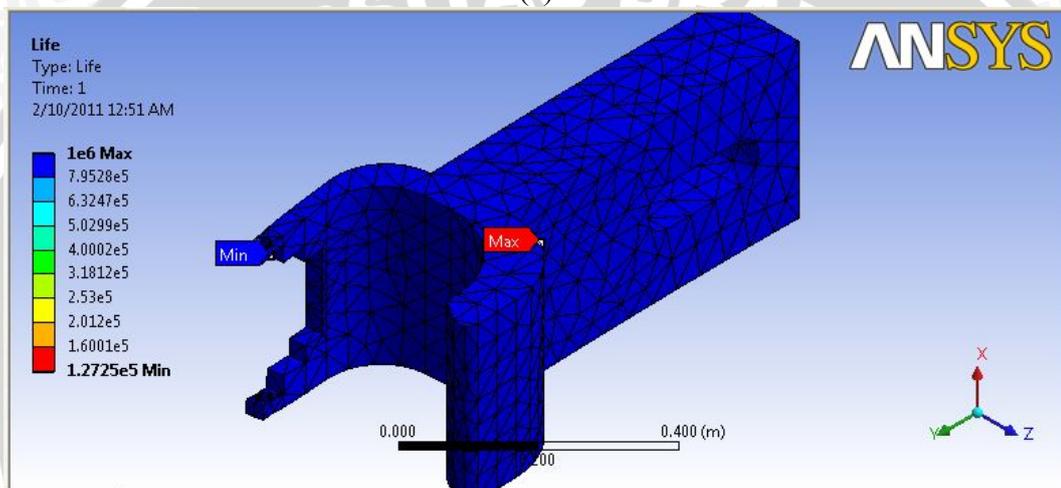
Dari gambar 4.27 dan 4.28, dapat diketahui bahwa *safety factor* pada setiap bagian memiliki perbedaan dibandingkan dengan kondisi rel tanpa tanjakan dan gradient 5<sup>0</sup>/<sub>00</sub>. Dari gambar 4.27 dapat diketahui bahwa *safety factor* terkecil *knuckle* juga terjadi pada kondisi sambungan rel berupa baut, yaitu sebesar 3.3149, begitu juga terjadi pada *coupler shank* (2.5069) dan *knuckle pin* (2.2267) yang terjadi pada kondisi sambungan rel berupa baut.

#### 4.1.3 Umur Kopler

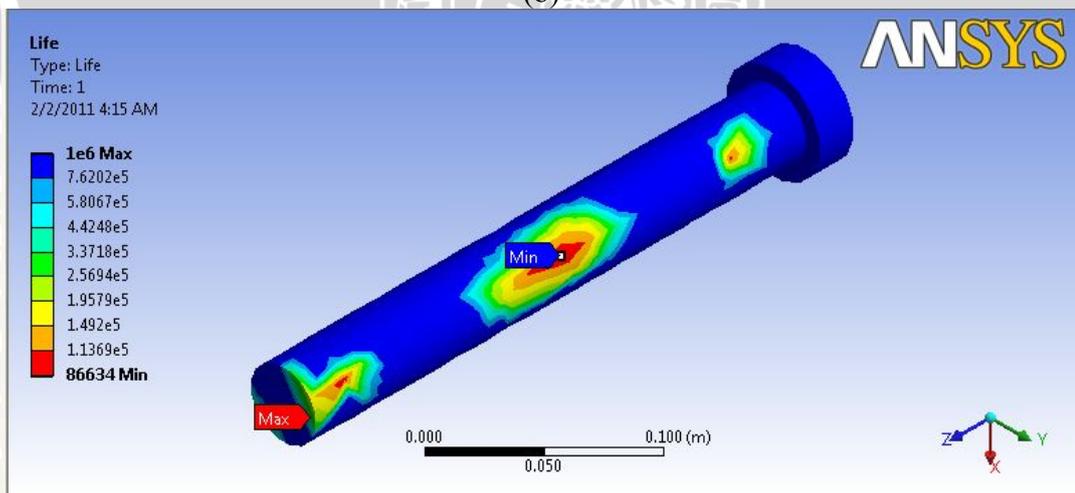
Setiap komponen menghasilkan tegangan yang berbeda-beda satu sama lain. Dengan adanya perbedaan tersebut, mengakibatkan perbedaan umur dari setiap komponen kopler. Adapun umur untuk setiap komponen kopler, dapat dilihat pada gambar berikut.



(a)

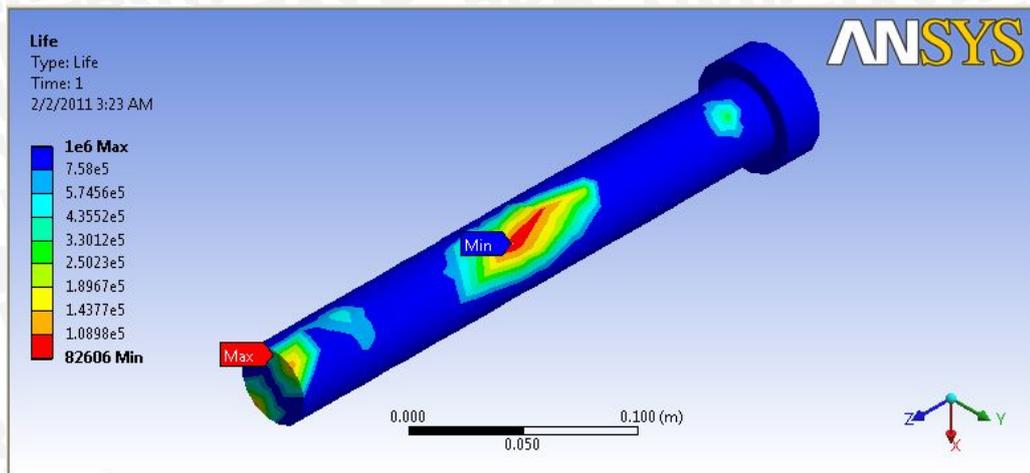


(b)



(c)

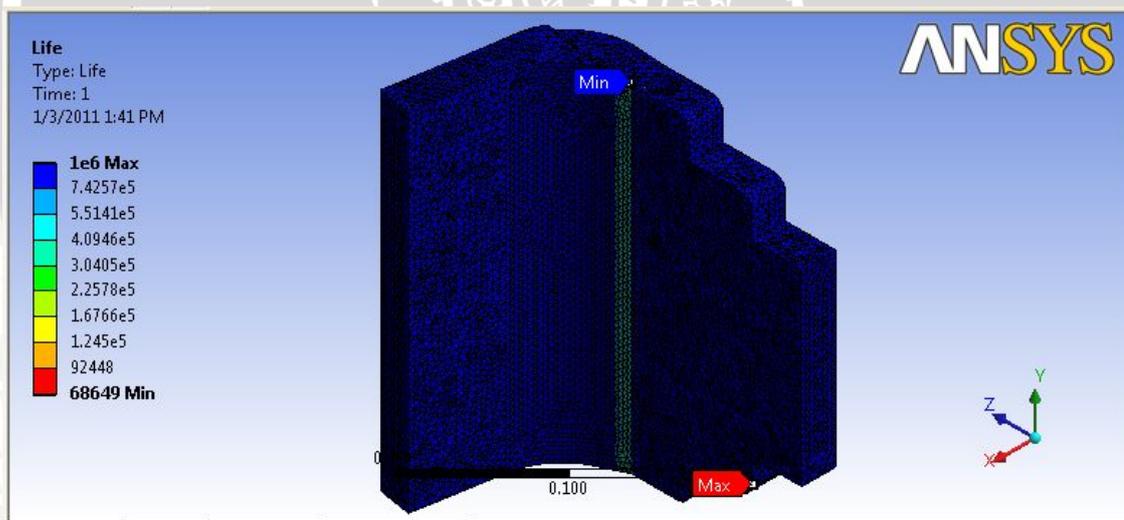




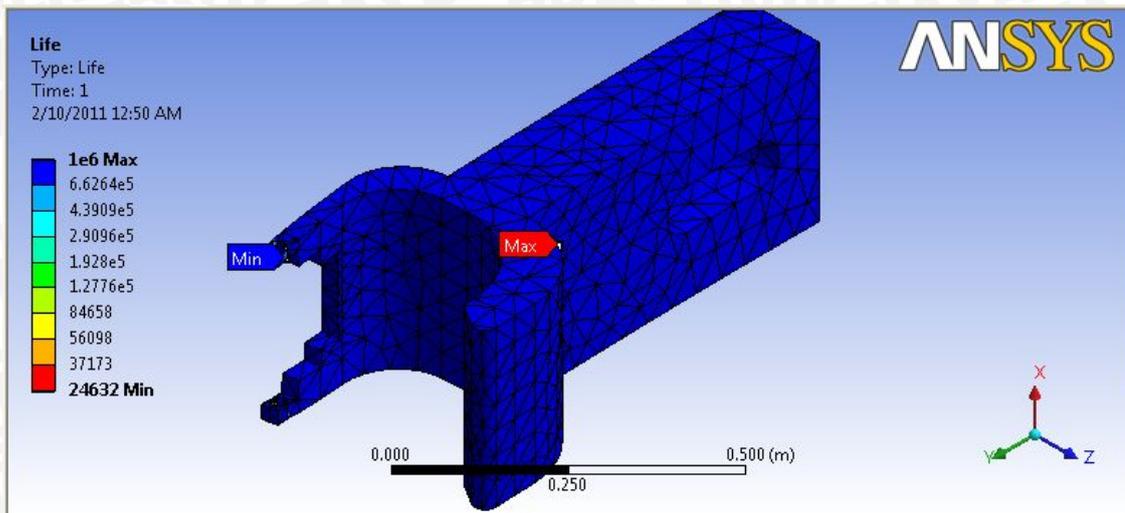
(d)

Gambar 4.29 Umur pada Komponen Kopler Kereta Api Kondisi tanpa Tanjakan (a) *Knuckle*, (b) *Coupler shank*, (c) *Knuckle pin* Pada Sambungan Rel Las, (d) *Knuckle pin* Pada Sambungan Rel Baut

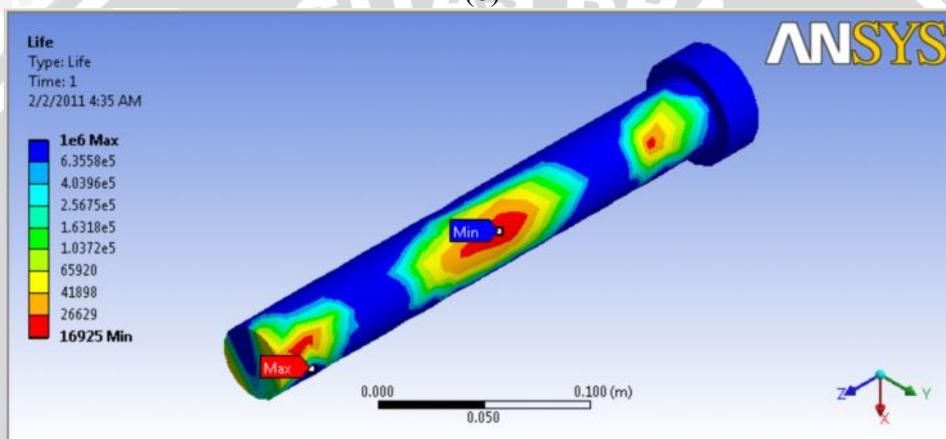
Dari gambar 4.30 dapat diketahui bahwa pada saat kondisi gradient kemiringan 0 ‰, umur dari *knuckle* adalah  $4.8757 \times 10^5$  siklus, sedangkan umur *coupler shank* adalah  $1.2727 \times 10^5$  siklus dan umur *knuckle pin* adalah 82606 siklus.



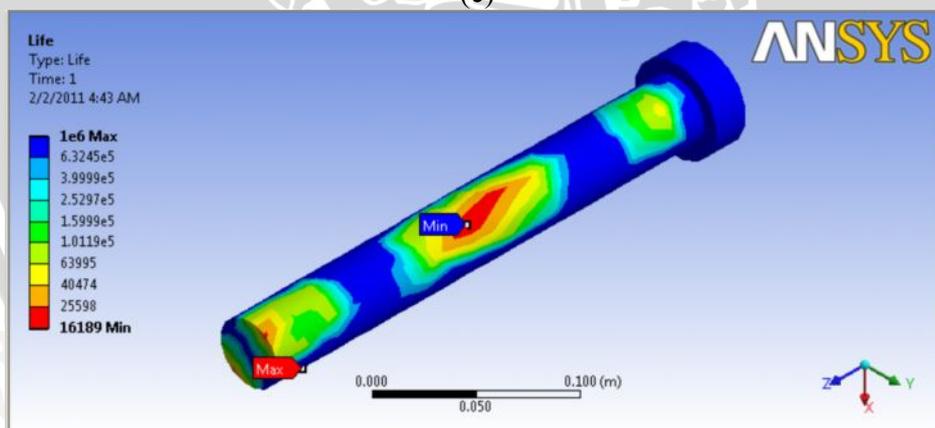
(a)



(b)



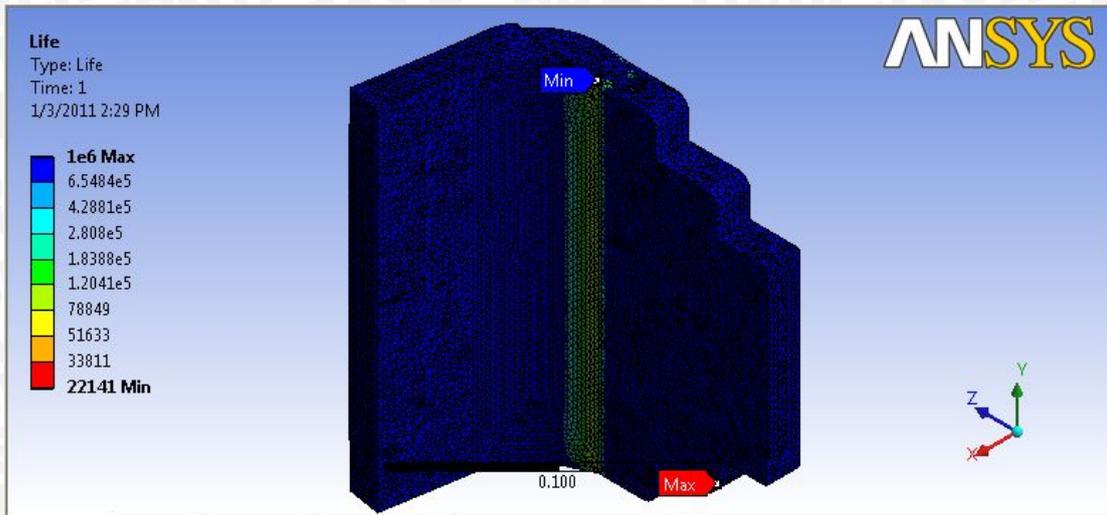
(c)



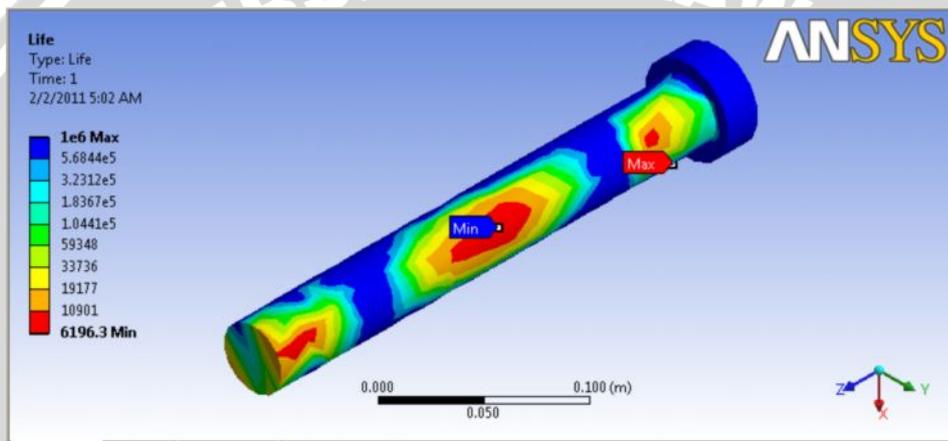
(d)

Gambar 4.30 Umur pada Komponen Kopler Kereta Api Kondisi Gradient Kemiringan 5 ‰ (a) *Knuckle*, (b) *Coupler shank*, (c) *Knuckle pin* Sambungan Rel Berupa Las, (d) *Knuckle pin* Sambungan Rel Baut

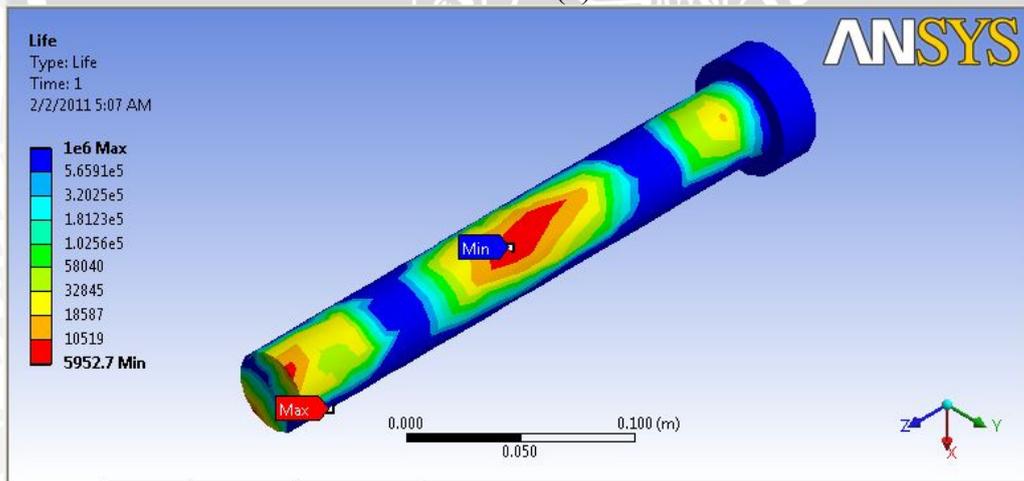
Dari gambar 4.30 dapat diketahui bahwa pada saat kondisi gradient kemiringan 5 ‰, umur dari *knuckle* adalah 68649 siklus, sedangkan umur *coupler shank* adalah 24632 siklus dan umur *knuckle pin* adalah 16189 siklus.



(a)

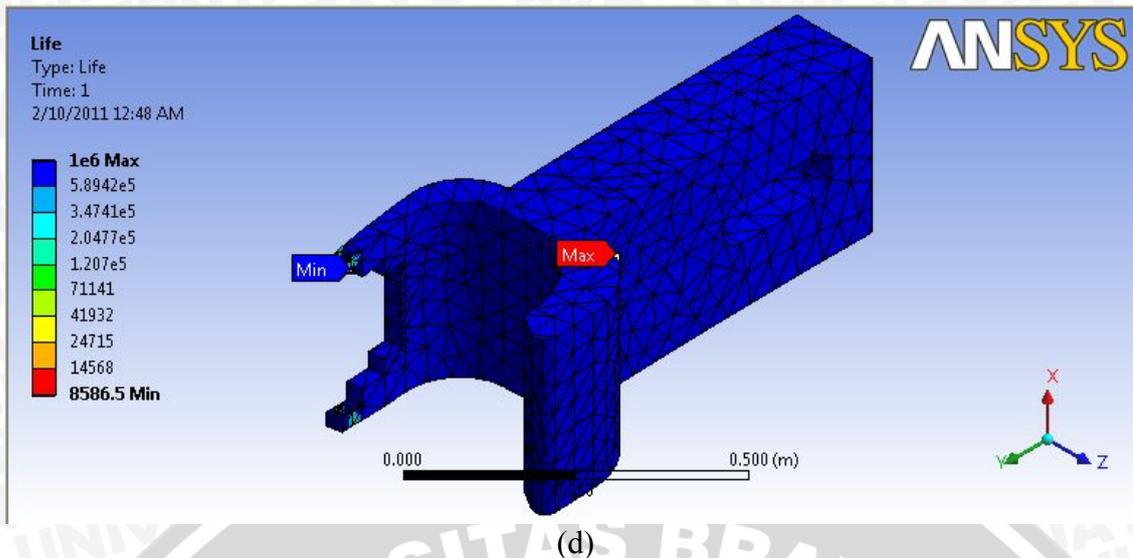


(b)



(c)





Gambar 4.31 Umur pada Komponen Kopler Kereta Api Kondisi Gradient Kemiringan  $10 \text{ }^{\circ}/_{00}$  (a) *Knuckle*, (b) *Knuckle pin* Sambungan Rel Berupa Las, (c) *Kuckle Pin* Sambungan Rel Berupa Baut, (d) *Coupler shank*

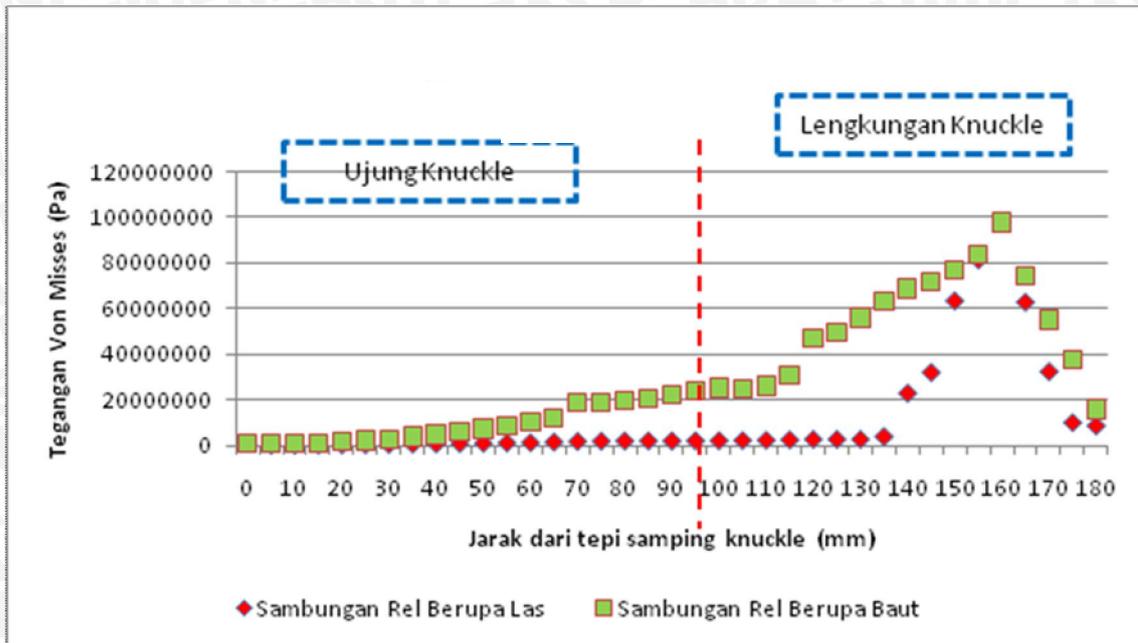
Dari gambar 4.31 dapat diketahui bahwa pada saat kondisi gradient kemiringan  $10 \text{ }^{\circ}/_{00}$ , umur dari *knuckle* adalah 22141 siklus, sedangkan umur *coupler shank* adalah 8586.5 siklus dan umur *knuckle pin* adalah 5952.2 siklus.

#### 4.2 Pembahasan

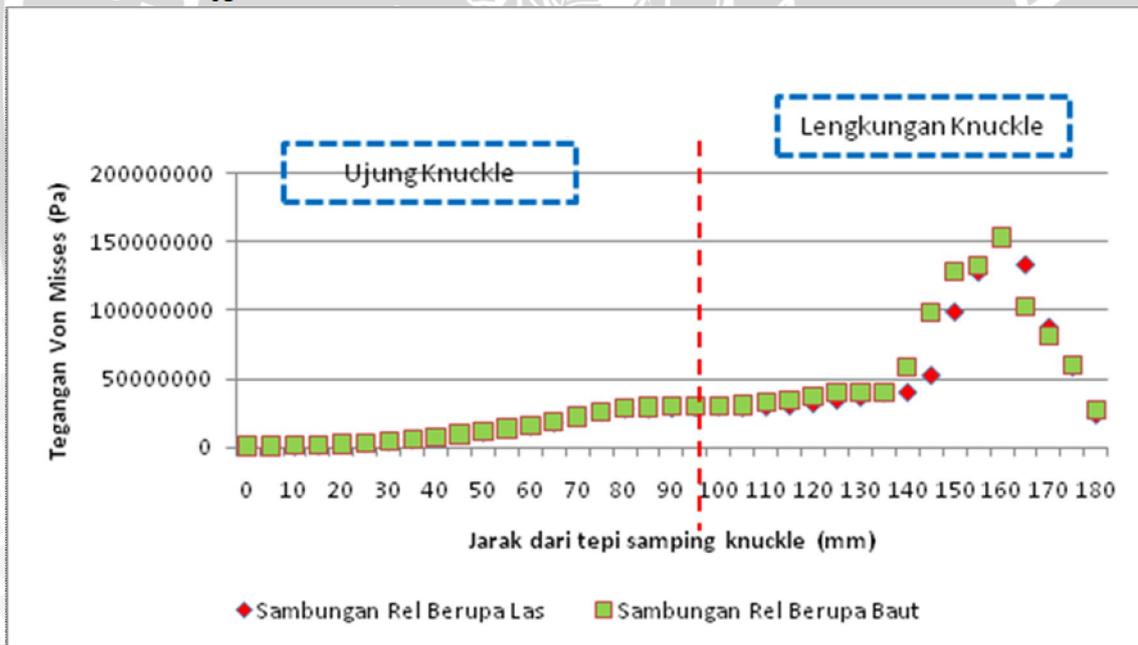
Hasil dari simulasi menunjukkan distribusi tegangan, *safety factor* dan umur dari tiap komponen kopler dengan masing-masing gradient kemiringan dan dengan memperhatikan sambungan rel kereta api.

Adanya variasi siklus pembebanan dapat mempengaruhi besarnya tegangan pada tiap penampang pada suatu komponen kopler kereta api. Besarnya tegangan ini akan didistribusikan ke seluruh penampang kopler. Adapun sebaran tegangan yang terjadi pada tiap komponen dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

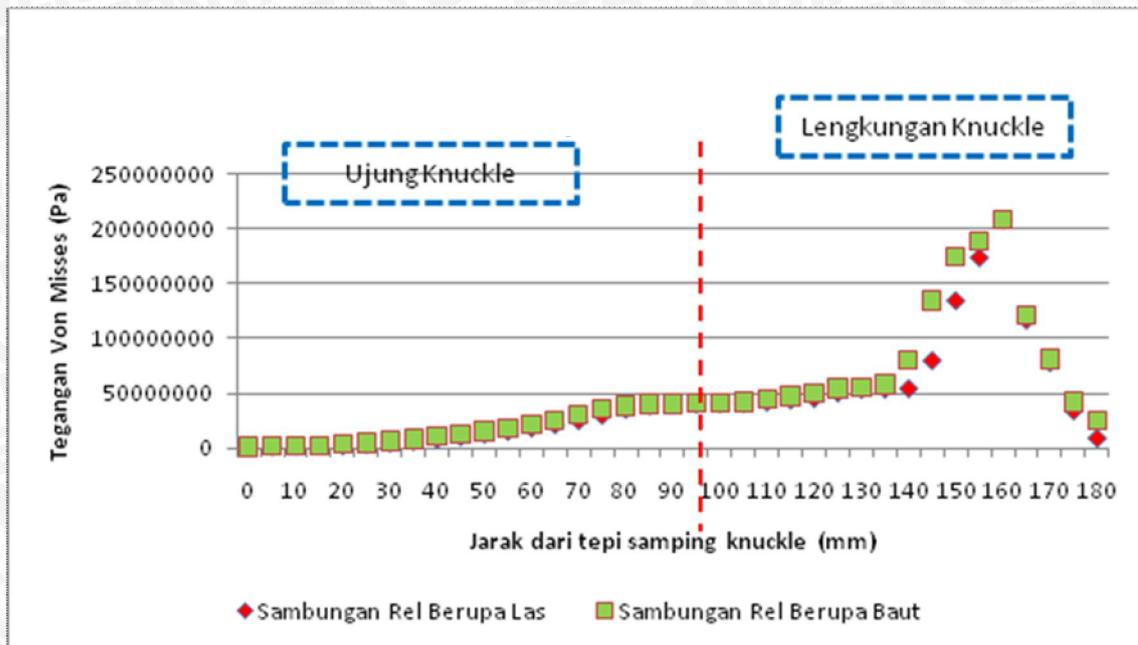
(a) *Knuckle* Kopler



Gambar 4.32 Distribusi Tegangan *Knuckle* Kopler Kereta Api Pada Gradient Kemiringan 0 ‰



Gambar 4.33 Distribusi Tegangan *Knuckle* Kopler Kereta Api Pada Gradient Kemiringan 5 ‰



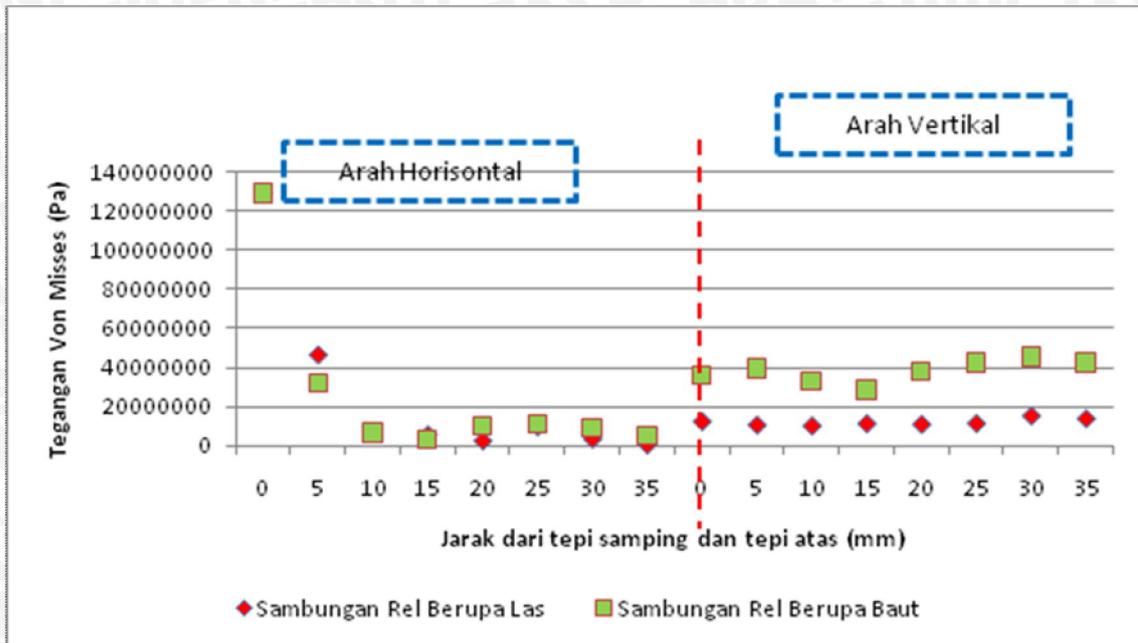
Gambar 4.34 Distribusi Tegangan *Knuckle* Kopler Kereta Api Pada Gradient Kemiringan 10<sup>0/00</sup>

Dari gambar 4.32 – 4.34 menunjukkan distribusi tegangan pada tiap jarak penampang terhadap sisi *knuckle*. Dari grafik dapat diketahui bahwa adanya sambungan rel berupa baut dapat mempengaruhi distribusi tegangan pada *knuckle*. Dengan adanya sambungan rel berupa baut mengakibatkan meningkatnya besarnya tegangan yang diterima oleh *knuckle*. Hal ini membuktikan bahwa semakin bervariasi siklus pembebanan yang digunakan, maka semakin besar pula besar dan variasi tegangan yang diterima oleh komponen tersebut.

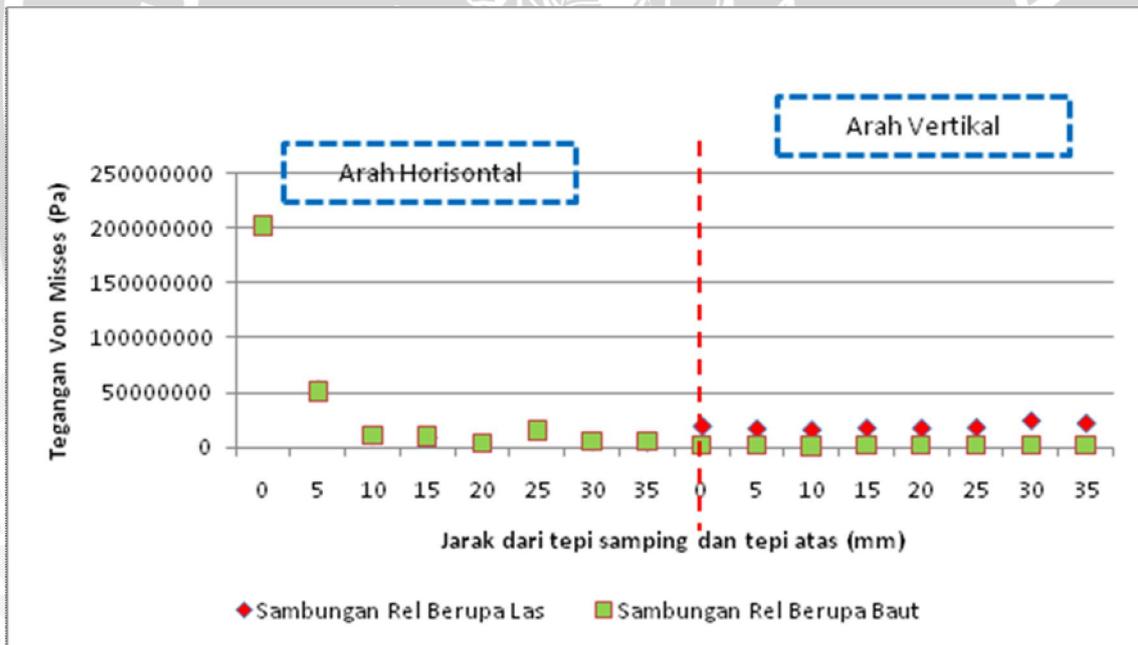
Dari grafik tersebut, dapat diketahui bahwa pada daerah *knuckle* yang terdapat lengkungan memiliki tegangan yang lebih besar dari pada penampang ujung dari *knuckle* kopler tersebut. Hal ini diakibatkan karena pada daerah tersebut terdapat lengkungan yang menandakan ketidakmulusan penampang, sehingga tegangan terkonsentrasi pada daerah tersebut. Dengan adanya konsentrasi tegangan pada daerah tersebut, sehingga tegangan pada daerah tersebut lebih besar daripada penampang lain.

Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa tegangan terbesar terletak pada penampang yang berjarak 160 mm dari tepi *knuckle*. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut merupakan penampang yang paling dekat dengan lubang *knuckle pin*, sehingga pada daerah tersebut terdapat ketidakmulusan penampang yang paling besar dibandingkan dengan penampang lainnya. Hal ini membuktikan lagi bahwa apabila terdapat ketidakmulusan penampang, baik itu berupa lubang, lengkungan maupun sambungan, maka tegangan akan terkonsentrasi pada penampang tersebut.

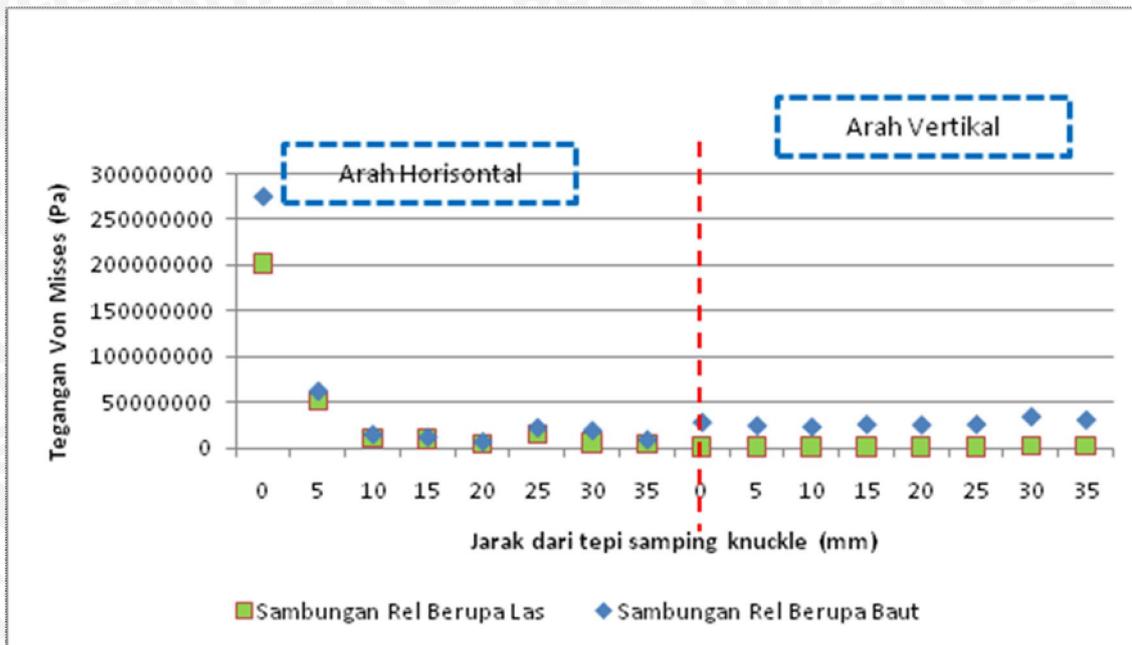
(b) *Coupler shank*



Gambar 4.35 Distribusi Tegangan *Coupler shank* Pada Gradient Kemiringan  $0^{\circ}/_{00}$



Gambar 4.36 Distribusi Tegangan *Coupler shank* Pada Gradient Kemiringan  $5^{\circ}/_{00}$

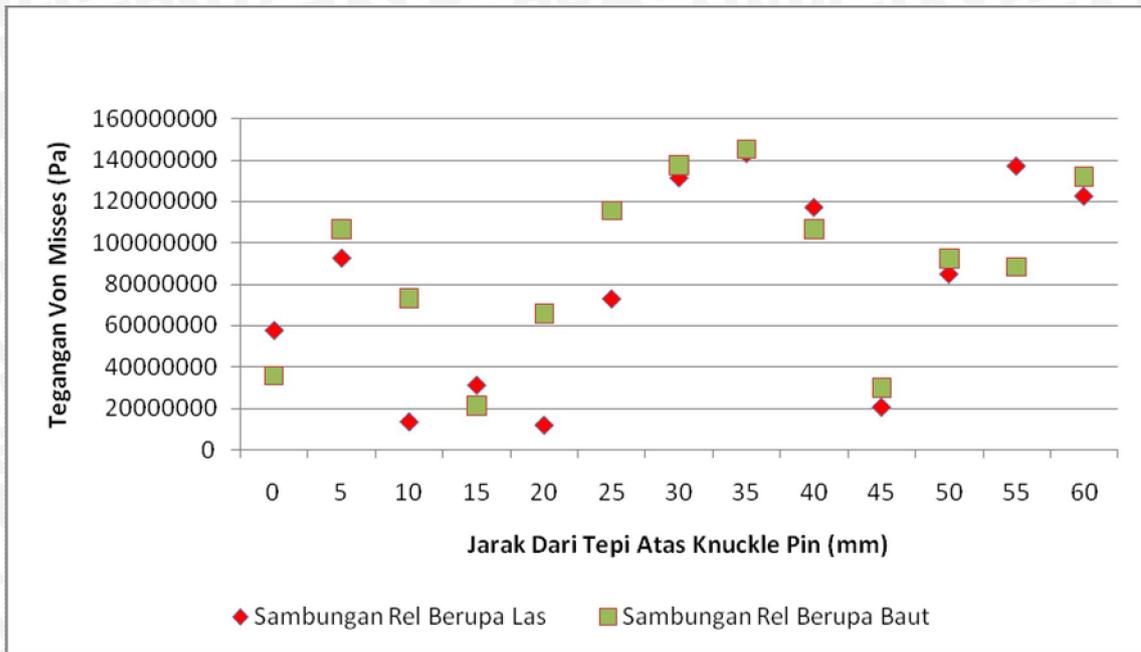


Gambar 4.37 Distribusi Tegangan *Coupler shank* Pada Gradient Kemiringan 10<sup>0/00</sup>

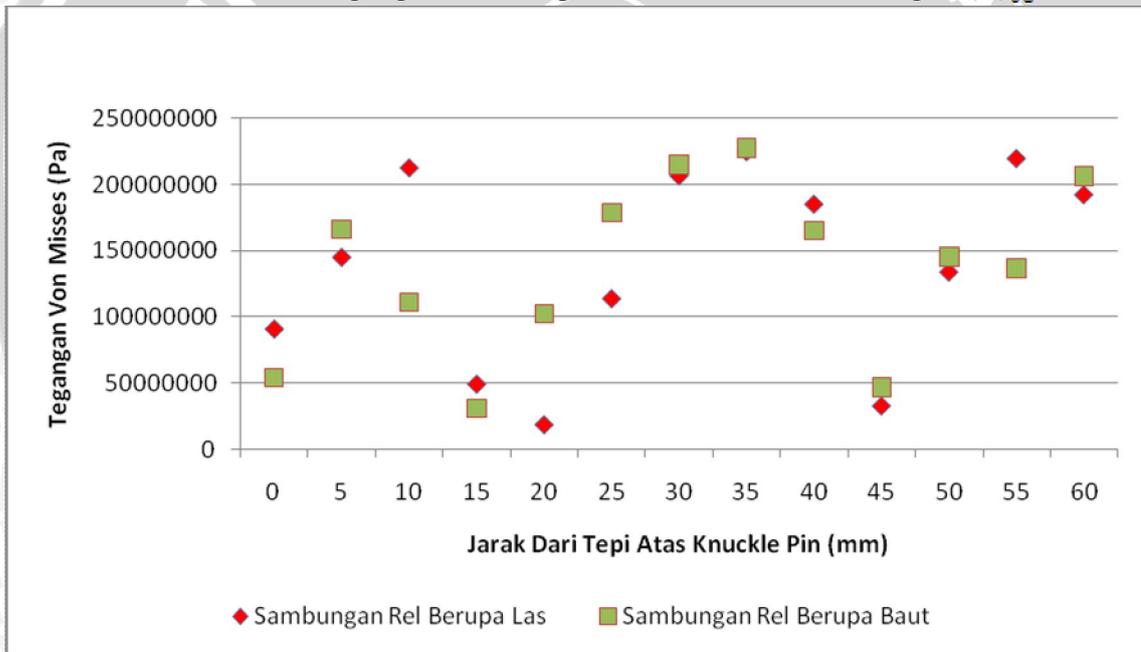
Dari gambar 4.35 – 4.37, menunjukkan distribusi tegangan pada *coupler shank* dengan memperhitungkan gradient kemiringan dan sambungan rel. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa adanya sambungan rel berupa baut dapat mengakibatkan meningkatnya tegangan yang diterima oleh *coupler shank*. Dapat dilihat pada *coupler shank* bagian penampang ke arah vertikal, menunjukkan peningkatan tegangan akibat adanya sambungan rel dibandingkan tidak adanya sambungan rel. Hal ini dikarenakan gaya yang diberikan lebih bervariasi dari pada gaya yang diberikan pada saat sambungan rel berupa las.

Dari grafik tersebut juga diketahui bahwa tegangan terbesar terletak pada jarak 0 mm dari tepi. Hal ini dikarenakan pada penampang tersebut, merupakan penampang yang paling dekat dengan lubang *knuckle pin* yang menandakan adanya ketidakmulusan penampang pada daerah tersebut, sehingga tegangan terkonsentrasi pada penampang tersebut. Semakin jauh dari lubang *knuckle pin* (arah horisontal), maka semakin kecil pula tegangan yang diterima.

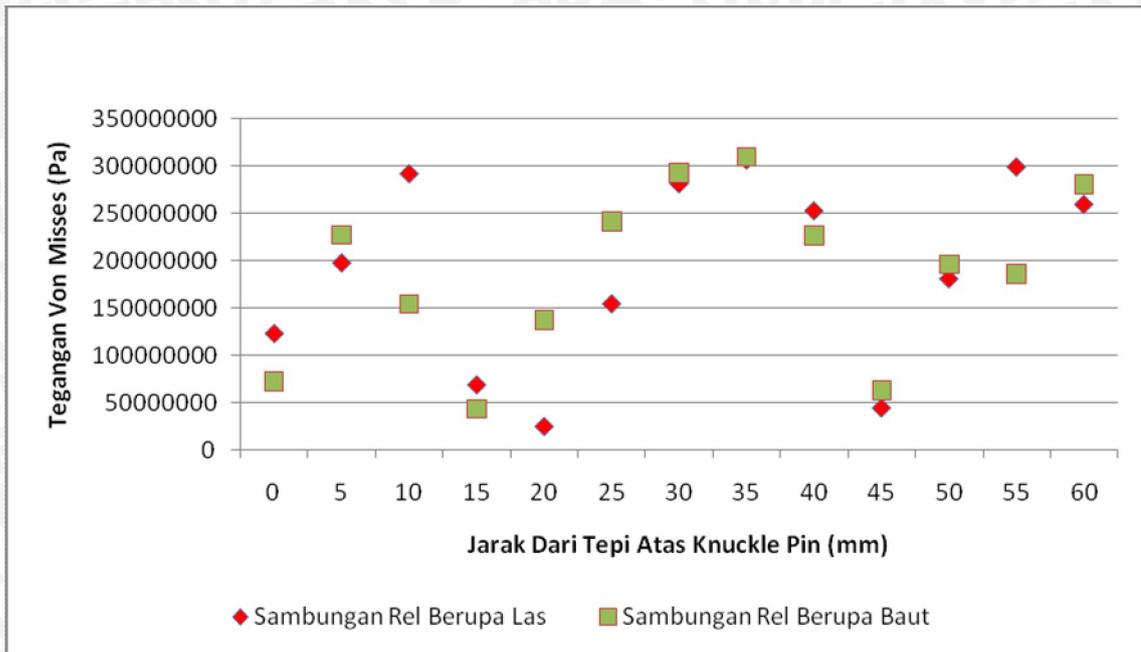
(c) *Knuckle pin*



Gambar 4.38 Distribusi Tegangan *Knuckle pin* Pada Gradient Kemiringan 0 ‰



Gambar 4.39 Distribusi Tegangan *Knuckle pin* Pada Gradient Kemiringan 5 ‰



Gambar 4.40 Distribusi Tegangan *Knuckle pin* Pada Gradient Kemiringan 10 ‰

Dari gambar 4.38 – 4.40 menunjukkan grafik distribusi tegangan pada setiap penampang *knuckle pin*. Dari grafik tersebut, dapat diketahui bahwa tegangan terbesar terletak pada penampang yang berjarak 35 mm dari kepala *knuckle pin*. Daerah tersebut merupakan daerah tengah, yang mana letaknya paling jauh dari daerah tumpuan. Hal inilah yang menyebabkan tegangan terkonsentrasi pada daerah tersebut. Dari grafik juga dapat diketahui bahwa dengan adanya sambungan rel berupa baut dapat meningkatkan tegangan yang diterima oleh *knuckle pin* tersebut.

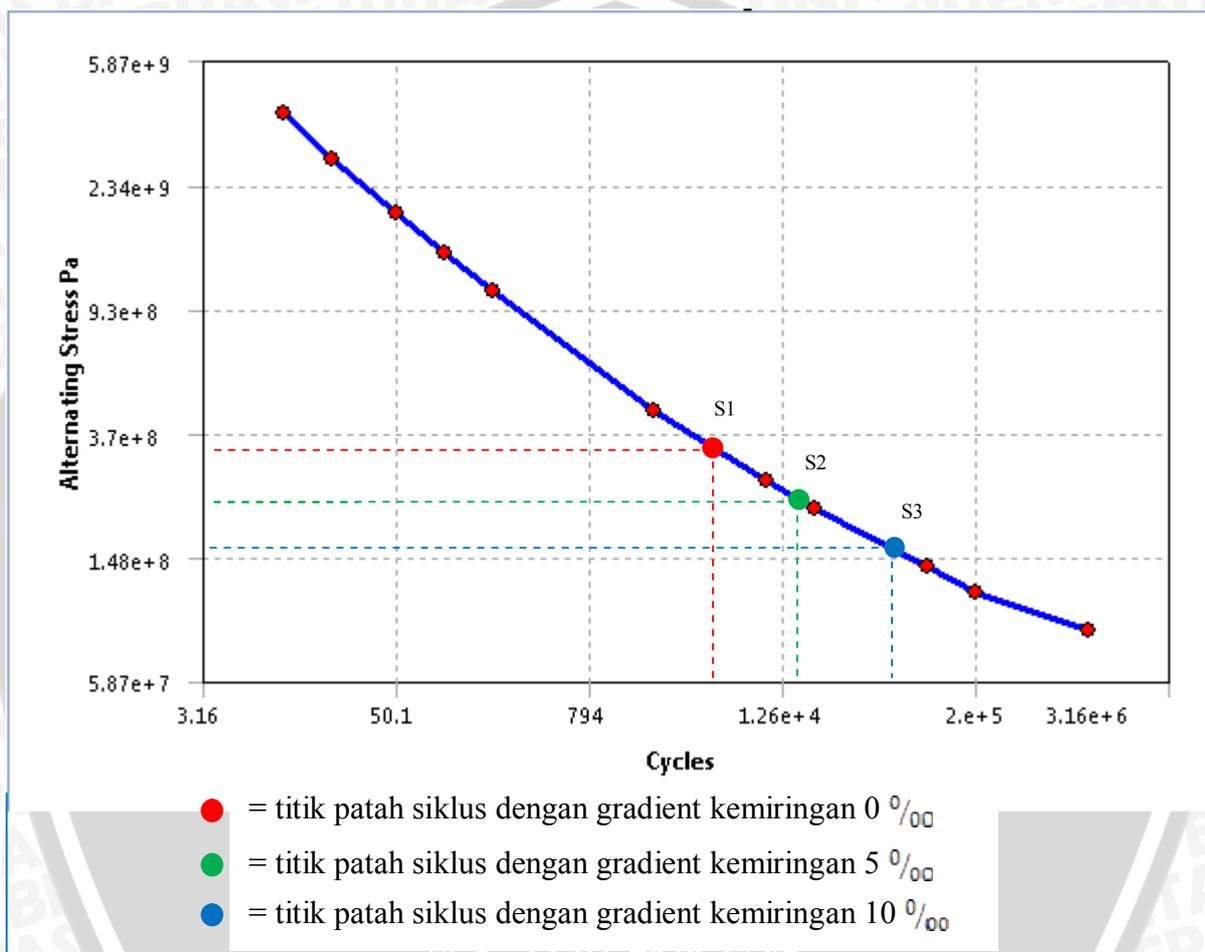
Distribusi tegangan yang dihasilkan akibat adanya beban siklus menimbulkan terjadinya tegangan minimum dan tegangan maksimum pada tiap komponen kopler tersebut. Adapun tegangan minimum dan maksimum dari tiap komponen kopler dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Besar Tegangan Minimum dan Maksimum Pada Tiap Komponen Kopler

Gradient Kemiringan	Sambungan Rel	Komponen	Tegangan Minimum (Pa)	Tegangan Maksimum (Pa)
0 ‰	Las	<i>Knuckle</i>	11.217	$9.765 \times 10^7$
		<i>Knuckle pin</i>	$1.8294 \cdot 10^6$	$1.435 \cdot 10^8$
		<i>Coupler shank</i>	512.52	$1.291 \times 10^8$
	Baut	<i>Knuckle</i>	11.303	$9.765 \times 10^7$
		<i>Knuckle pin</i>	$1.5119 \cdot 10^6$	$1.453 \cdot 10^8$
		<i>Coupler shank</i>	512.52	$1.291 \times 10^8$
5 ‰	Las	<i>Knuckle</i>	17.573	$1.529 \times 10^8$
		<i>Knuckle pin</i>	$2.8644 \cdot 10^6$	$2.2469 \cdot 10^8$
		<i>Coupler shank</i>	802.45	$2.0219 \times 10^8$
	Baut	<i>Knuckle</i>	17.613	$1.529 \times 10^8$
		<i>Knuckle pin</i>	$2.3672 \cdot 10^6$	$2.2762 \cdot 10^8$
		<i>Coupler shank</i>	802.45	$2.0219 \times 10^8$
10 ‰	Las	<i>Knuckle</i>	24.039	$1.529 \times 10^8$
		<i>Knuckle pin</i>	$3.8995 \times 10^6$	$3.0588 \times 10^8$
		<i>Coupler shank</i>	1092.4	$2.7524 \times 10^8$
	Baut	<i>Knuckle</i>	24.097	$1.529 \times 10^8$
		<i>Knuckle pin</i>	$3.2227 \times 10^6$	$3.0988 \times 10^8$
		<i>Coupler shank</i>	1092.4	$2.7524 \times 10^8$

Tabel di atas menunjukkan tentang besar tegangan minimum dan maksimum pada tiap komponen kopler. Dari tabel tersebut dapat diambil hubungan antara besar gaya (gradient kemiringan) dan tegangan yang diterima yaitu semakin besar gaya yang diberikan, maka tegangan yang diterima juga semakin besar. Selain itu juga dapat ditarik hubungan antara adanya sambungan rel berupa baut dapat meningkatkan besarnya tegangan yang diterima. Hubungan antara tiap komponen adalah tegangan

terbesar terletak pada komponen *knuckle pin*. Hal ini berpengaruh kepada *safety factor* dan umur dari komponen tersebut. Semakin besar tegangan yang diterima, maka semakin kecil *safety factor* dan semakin cepat pula untuk rusak. Dalam hal ini komponen kopler yang memiliki *safety factor* terkecil dan komponen yang paling cepat rusak (umur pendek) adalah *knuckle pin*. Adapun hubungan antara gradient kemiringan dan umur kopler tampak pada gambar 4.41.



Gambar 4.41 Grafik S-N Hasil Simulasi Pada Tiap Gradient Kemiringan

Dari gambar 4.1, dapat dilihat bahwa umur paling lama terjadi pada gradient kemiringan 0 % yaitu selama 85578 siklus, sedangkan umur paling pendek terjadi pada saat gradient kemiringan 10 % yaitu selama 6132.3 siklus. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi gradient kemiringan, maka semakin pendek pula umur yang dimiliki oleh kopler tersebut. Adapun penyebab pendeknya umur kopler pada saat gradient kemiringan 10 % adalah adanya konsentrasi tegangan yang terbesar dibandingkan dengan gradient kemiringan yang lainnya.