

Teknologi Reconfigurable Intellegence Surfaces (RIS)-sebagai Pendukung Jaringan Komunikasi Generasi ke-Enam (6G)

Agung Mulyo Widodo, ST, M.Sc., PhD (Candidate)



Background

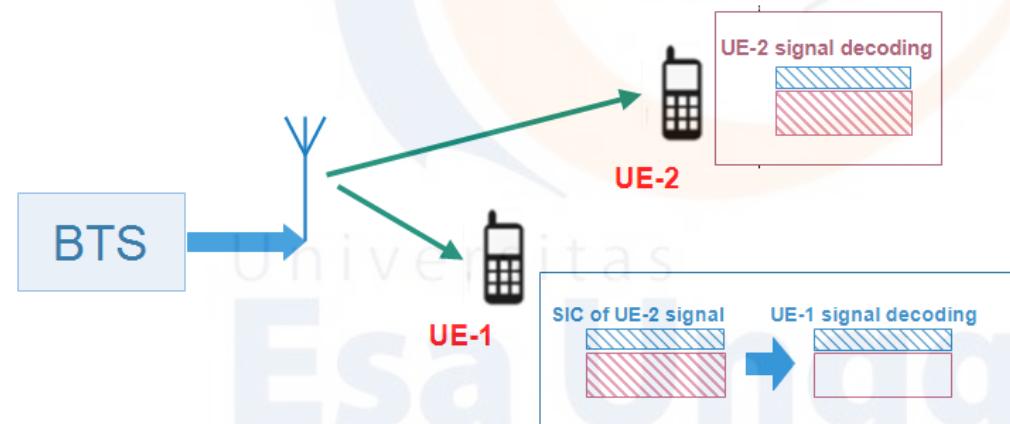
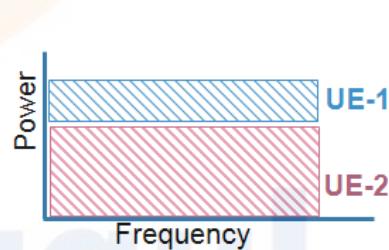
- Pada tahun 2027, akan tumbuh menjadi 171,3 juta terabyte per bulan. Terlepas dari dilema COVID-19, yang sebelumnya diperkirakan sebesar 35,5 juta Terabyte per bulan pada tahun 2020
- Media propagasi telah dianggap sebagai entitas yang berperilaku acak antara pemancar dan penerima.
- Terjadi penurunan kualitas sinyal yang diterima.
- Saat ini Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) telah menjadi kandidat yang menjanjikan di jaringan nirkabel generasi kelima (5G).
- Melihat masa depan di luar 5G (B5G) seperti jaringan nirkabel generasi keenam (6G) yang menargetkan pemenuhan persyaratan yang lebih ketat daripada 5G, seperti **kecepatan data dan efisiensi energi yang sangat tinggi, jangkauan dan konektivitas global, serta keandalan yang sangat tinggi dan latensi yang rendah.**

What is NOMA ?

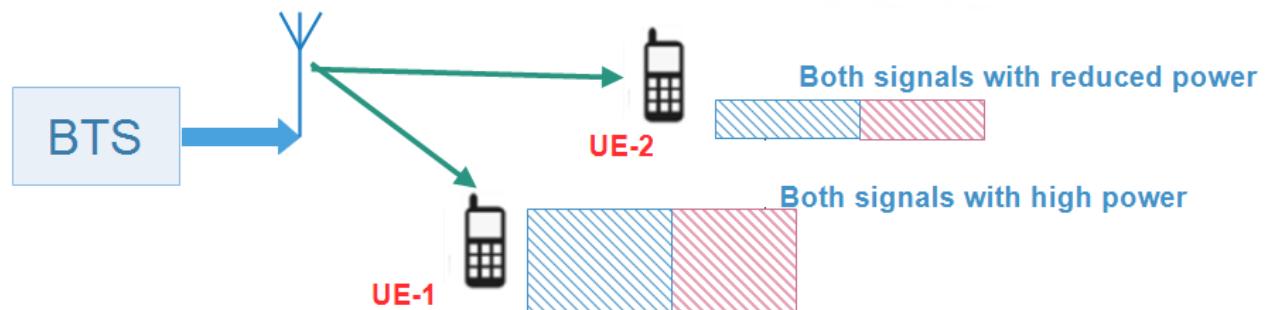
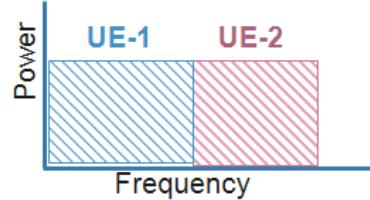
- Teknik akses radio yang paling menjanjikan dalam komunikasi nirkabel generasi kelima.
- Sistem yang memungkinkan protokol *amplify-and-forward (AF)* dan *decode-and-forward (DF)*.
- Gagasan utama NOMA adalah bahwa banyak pengguna dapat dilayani dengan berbagi sumber daya fisik yang sama melalui tingkat daya yang berbeda.

Perbedaan antara NOMA (5G) dan OMA/OFDMA (4G)

NOMA



OFDMA



Tantangan Jaringan Wireless 5G

- Semakin aktif menyebarkan node seperti base stasiun (BS), titik akses (AP), relay, dan distribusi antena/remote radio heads (*RRHs*) untuk memperpendek jarak komunikasi untuk mencapai peningkatan jangkauan dan kapasitas jaringan sehingga menimbulkan konsumsi energi yang lebih tinggi dan biaya penyebaran/backhaul/pemeliharaan, serta masalah interferensi jaringan.
- Mengemas jauh lebih banyak antena di *BS/AP/relay* untuk memanfaatkan keuntungan multiple-input-multiple-output (*M-MIMO*) yang sangat besar, yang membutuhkan peningkatan biaya perangkat keras dan energi serta kompleksitas pemrosesan sinyal;
- bermigrasi ke pita frekuensi yang lebih tinggi seperti frekuensi gelombang milimeter (mmWave) dan bahkan terahertz (THz) untuk memanfaatkan bandwidth yang besar dan tersedia, sehingga membutuhkan lebih banyak node aktif dan memasang lebih banyak antena (yaitu, super MIMO) sehingga untuk mengkompensasi kerugian propagasi yang lebih tinggi dari jarak.

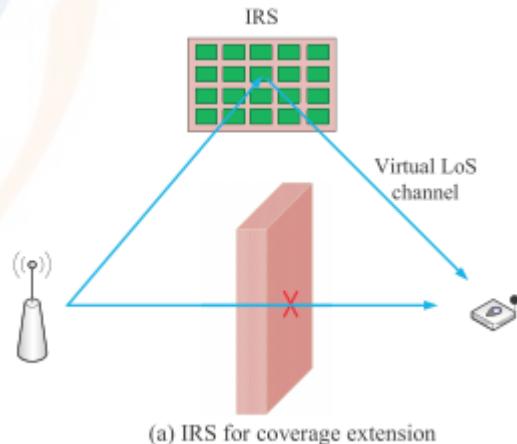
What is RIS/IRS?

- Reconfigurable Intelligence Surface (RIS)/ intelligent reflecting surface (IRS), yang merupakan material permukaan elektromagnetik (EM) buatan manusia yang dikontrol secara elektronik dengan elektronik terintegrasi, telah mendapat banyak perhatian karena kemampuan komunikasi nirkabelnya yang unik.
- Reconfigurable Intellegence Surfaces (RIS) dapat dimungkinkan untuk memperluas cakupan, dengan mengontrol karakteristik gelombang radio (hamburan, pemantulan, dan pembiasan) untuk menghilangkan efek negatif dari propagasi nirkabel alami oleh operator jaringan
- RIS tidak memerlukan sumber energi eksternal dan dapat membentuk sinyal nirkabel dengan pemrograman perangkat lunak sehingga sangat berguna dalam hal efektivitas biaya dan penggunaan energi

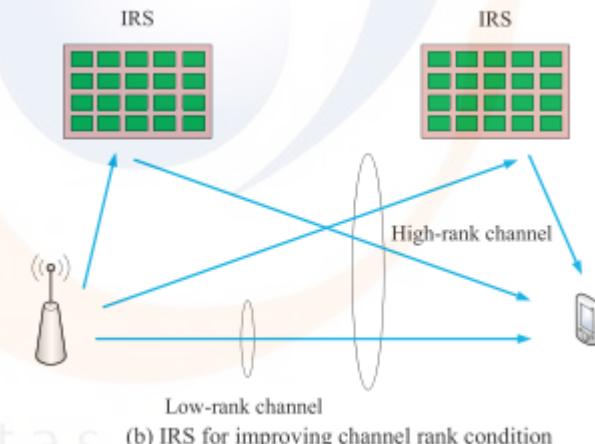
Cara Kerja RIS/IRS?

- Permukaan planar yang terdiri dari sejumlah besar elemen pemantulan pasif, yang masing-masing mampu menginduksi amplitudo yang dapat dikontrol dan/atau perubahan fase ke sinyal datang secara independen.
- Dengan menyebarluaskan RIS/IRS secara padat di jaringan nirkabel dan dengan cerdas mengoordinasikan pantulannya, saluran propagasi sinyal/nirkabel antara pemancar dan penerima dapat dikonfigurasi ulang secara fleksibel untuk mencapai realisasi dan/atau distribusi yang diinginkan.
- Dengan demikian menyediakan cara baru untuk secara mendasar mengatasi gangguan akibat pemudaran saluran nirkabel dan masalah interferensi, dan berpotensi mencapai peningkatan lompatan kuantum dalam hal kapasitas dan keandalan komunikasi nirkabel.

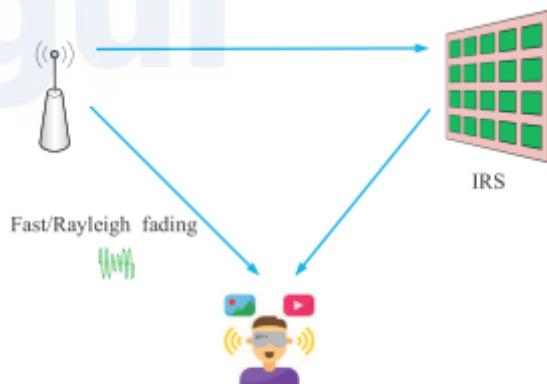
Mengapa RIS diperlukan?



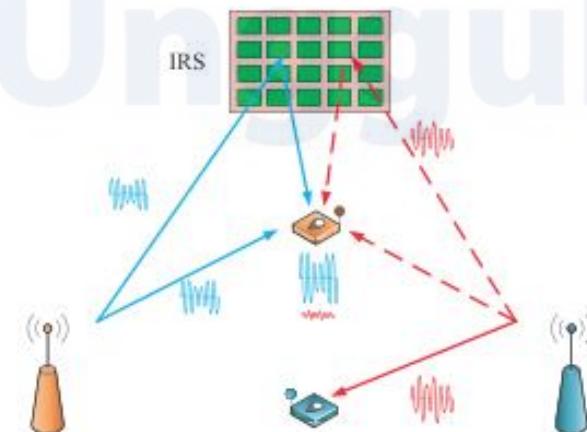
(a) IRS for coverage extension



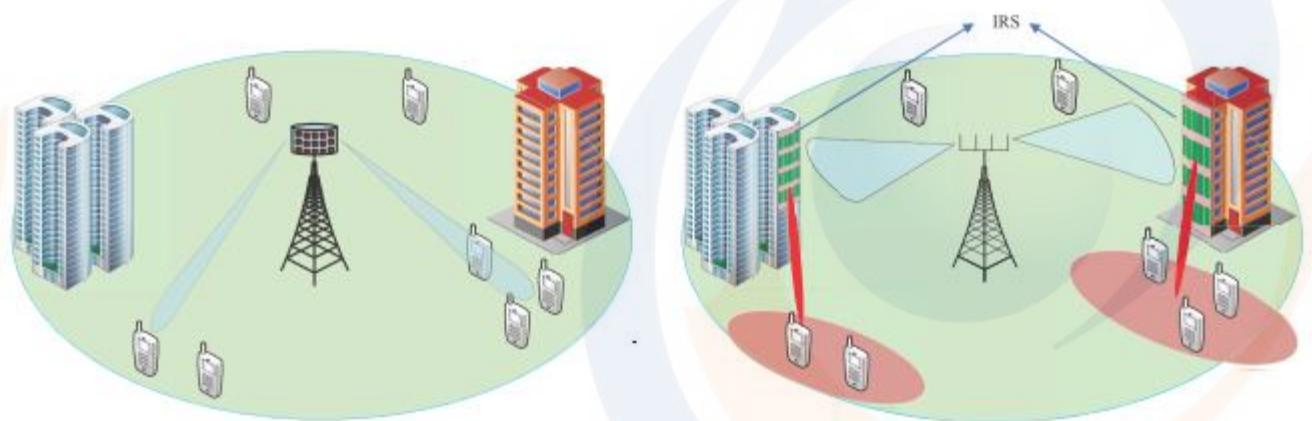
(b) IRS for improving channel rank condition



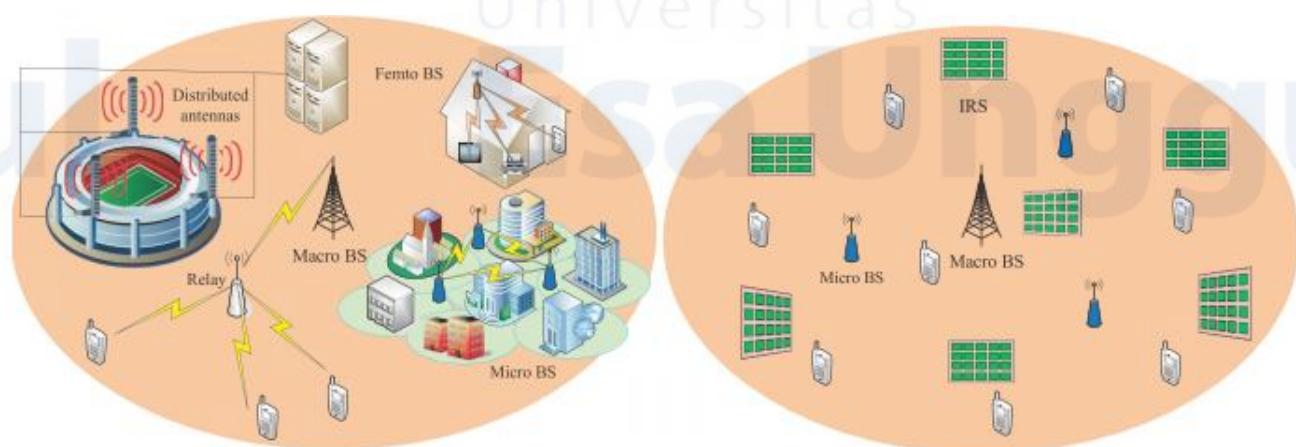
(c) IRS for refining channel statistics



(d) IRS for interference suppression



(a) M-MIMO system versus IRS-aided small/moderate MIMO system.



(b) Heterogenous wireless network versus IRS-aided hybrid wireless network.

Ilustrasi aplikasi RIS di jaringan nirkabel masa depan.

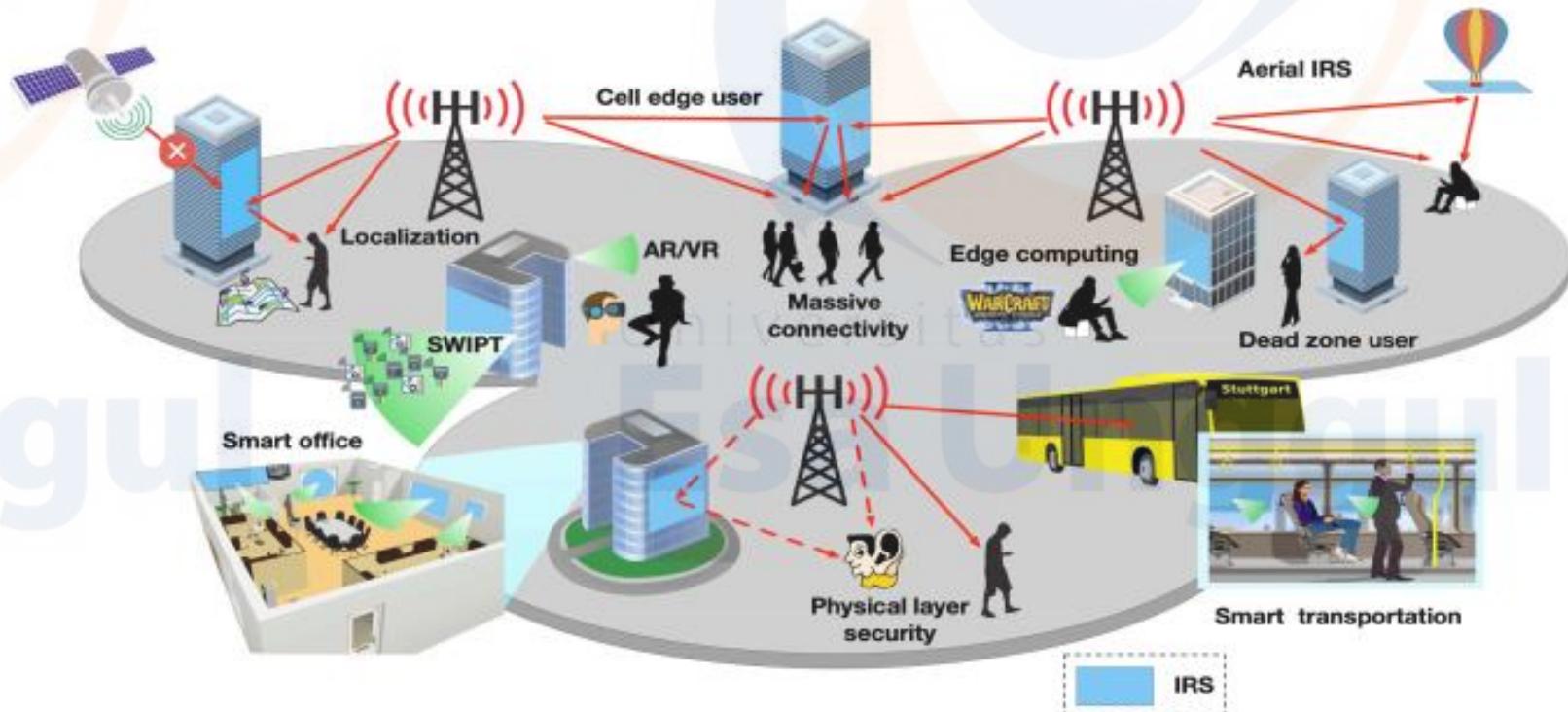
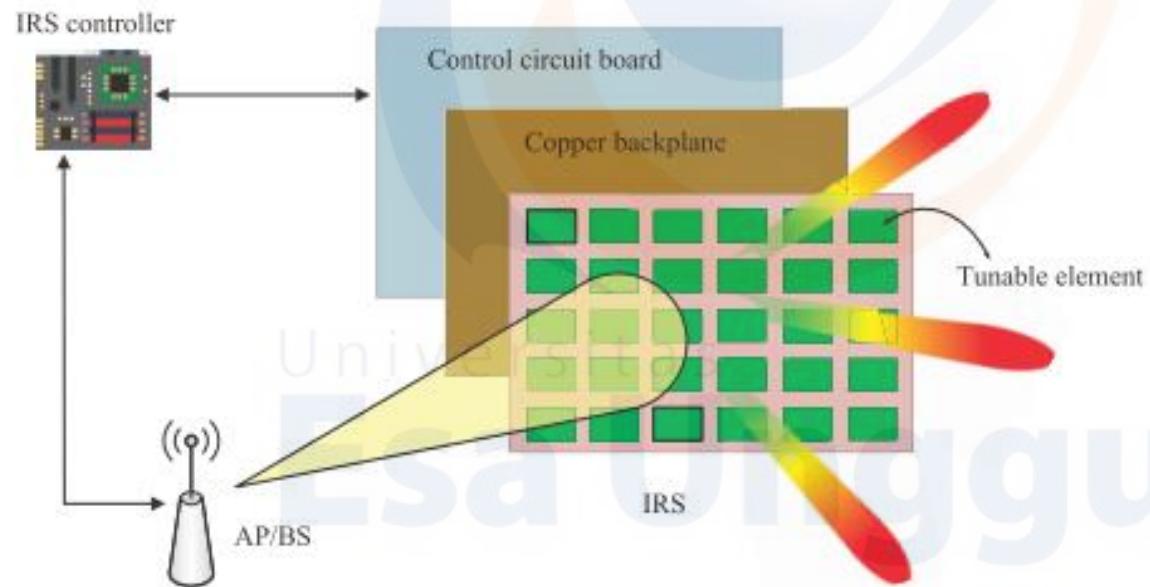


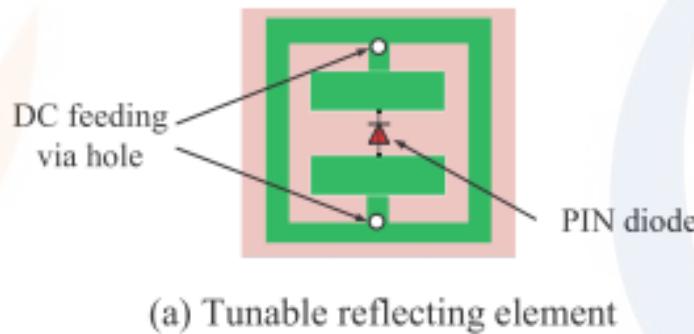
TABLE I
LIST OF MAIN INDUSTRY PROGRESS, PROTOTYPES, AND PROJECTS RELATED TO IRS

Company	Year	Main activity and achievement
NTT DOCOMO and Metawave	2018	Demonstrate 28 GHz-band 5G using the first meta-structure reflectarray
Lumotive and TowerJazz	2019	Demonstrate the first true solid-state beam steering using liquid crystal metasurface
Pivotal Commware	2019	Demonstrate holographic beamforming technology using software-defined antennas
NTT DOCOMO and AGC Inc.	2020	Demonstrate the first prototype transparent dynamic metasurface for 5G
Greenerwave	—	Develop physics-inspired algorithms for reconfigurable metasurfaces
Research project	Start year	Main objective
VisorSurf	2017	Develop a hardware platform for software-driven functional metasurface
ARIADE	2019	Design metasurface integrated with new radio and artificial intelligence (AI) techniques
PathFinder	2021	Establish the theoretical and algorithmic foundations for intelligent metasurface enabled wireless 2.0 networks

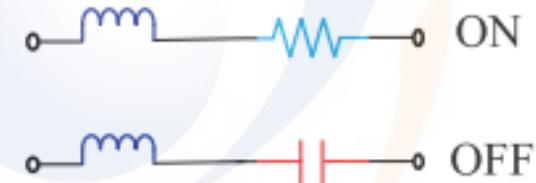
Arsitektur RIS/IRS



Architecture of IRS.



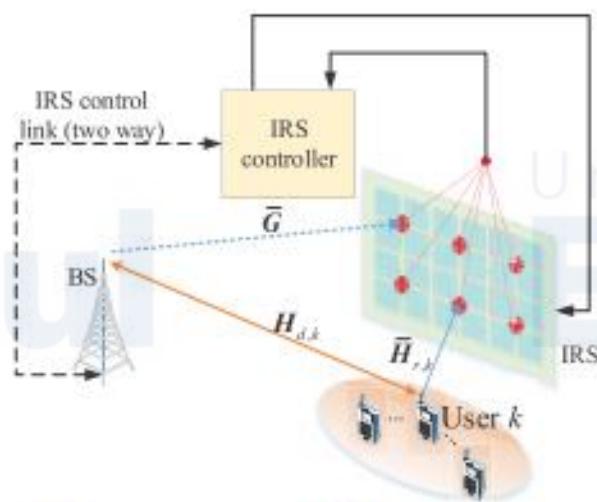
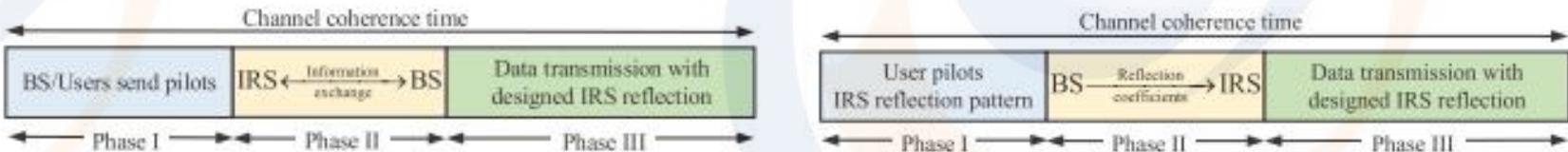
An example of the tunable reflecting element based on PIN diode.



(b) Equivalent circuit of PIN diode

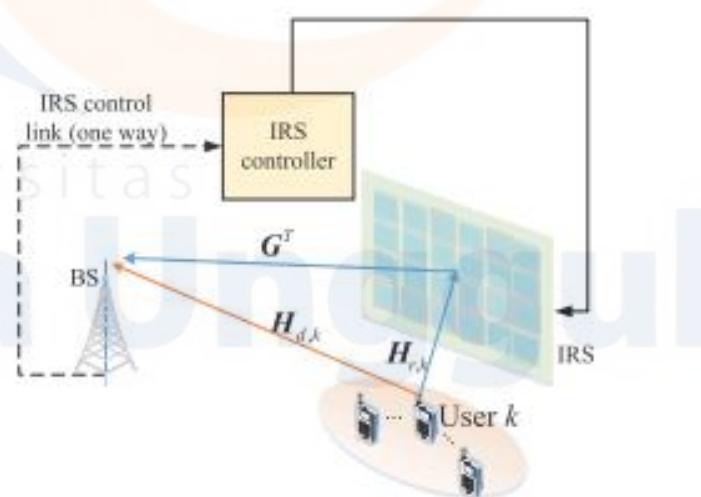
Ada tiga pendekatan utama secara teoritik, untuk mengkonfigurasi ulang elemen IRS untuk refleksi yang dapat terkontrol,, yaitu:

- aktuasi mekanis (melalui, misalnya, rotasi dan translasi mekanik),
- bahan fungsional (misalnya, kristal cair dan graphene), dan
- perangkat elektronik (misalnya, dioda positif-intrinsik-negatif (PIN), transistor efek medan (FET), atau sakelar sistem mikro-elekromekanis (MEMS))



Reflecting element Sensing device

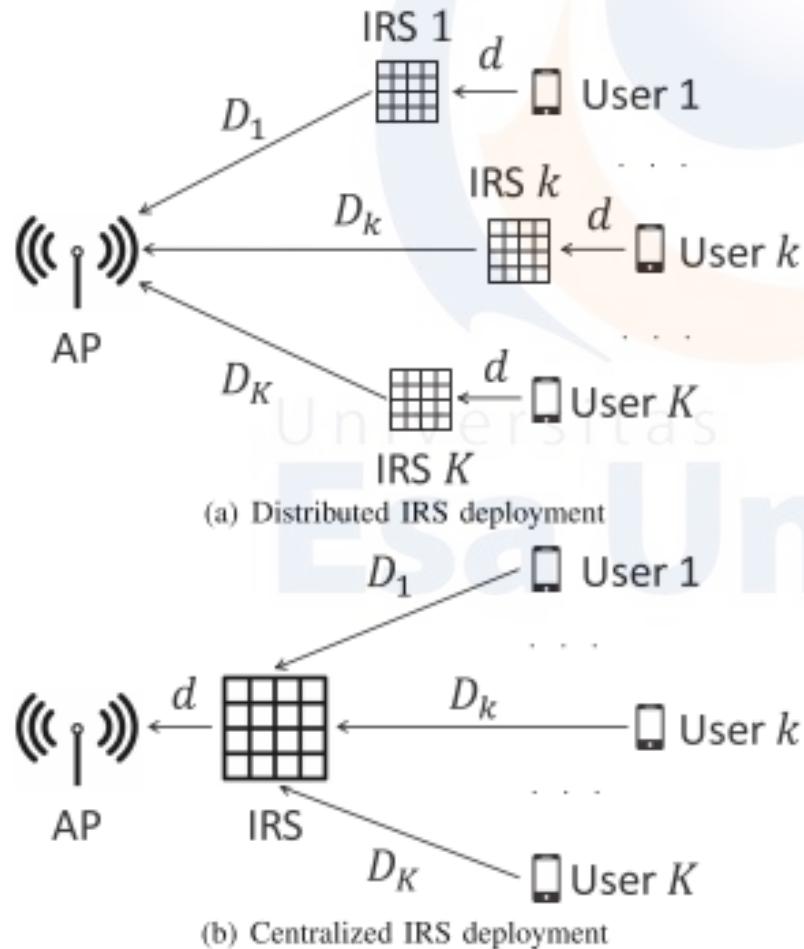
(a) Semi-passive IRS.



Reflecting element

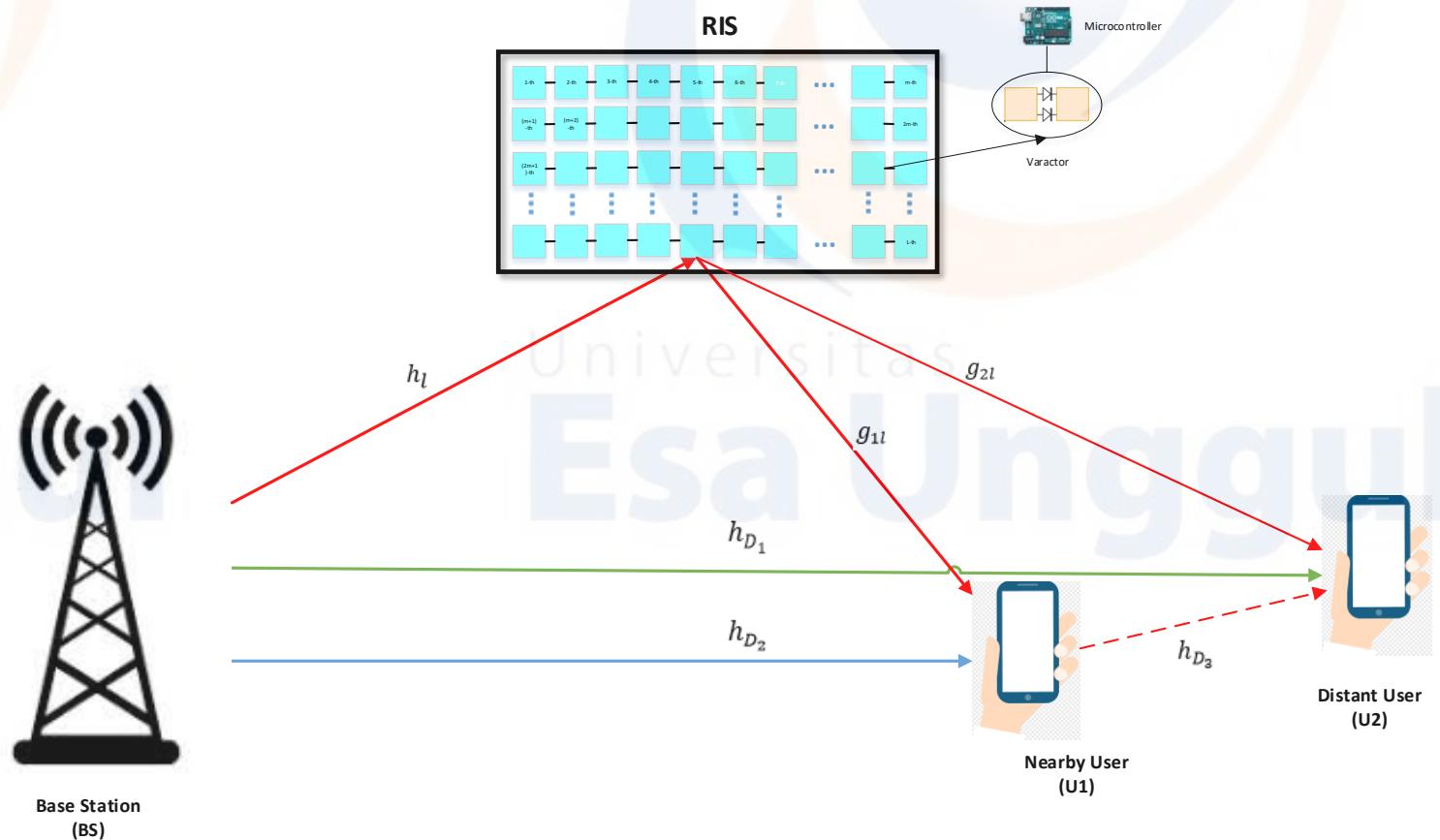
(b) Passive IRS (in the uplink).

Penyebaran IRS dalam jaringan komunikasi multi-pengguna



Contoh Riset

System Model



Penurunan Model Matematik

Sinyal yang ditransmisikan dari BS:

$$s(t) = \sqrt{a_1 P_s} x_1(t) + \sqrt{a_2 P_s} x_2(t)$$

Sinyal yang diterima oleh Penerima 1:

$$y_{S,U1} = \left[h_{D_1} + h_{1l}^H \Phi g_{2l} \right] \left(\sqrt{a_1 P_s} x_1 + \sqrt{a_2 P_s} x_2 \right) + n_{U_1}$$

$$= \left[h_{D_1} + \alpha \sum_{l=1}^L h_{1l}^H \Phi g_{2l} \right] \left(\sqrt{a_1 P_s} x_1 + \sqrt{a_2 P_s} x_2 \right) + n_{U_1}$$

$$= \left[h_{D_1} + \alpha \sum_{l=1}^L h_{1l} g_{1l} e^{j\Phi_l} \right] \left(\sqrt{a_1 P_s} x_1 + \sqrt{a_2 P_s} x_2 \right) + n_{U_1}$$

$$y_{S,U1} = \left(\left| \hat{h}_{D_1} + e_{D_1} \right| \right) \left(\sqrt{a_1 P_s} x_1 + \sqrt{a_2 P_s} x_2 \right) + \left(\sum_{l=1}^L \left| \hat{h}_{1l} + e_{1l} \right| \left| \hat{g}_{1l} + e_{1l} \right| \right) \left(\sqrt{a_1 P_s} x_1 + \sqrt{a_2 P_s} x_2 \right) + n_{U_1}$$

Sinyal yang diterima oleh Penerima 2:

$$y_{S,U2} = \left[\left(|\hat{h}_{D_2}| + e_{D_2} \right) \left(\sqrt{a_1 P_s} x_1 + \sqrt{a_2 P_s} x_2 \right) + \left(\sum_{l=1}^L |\hat{h}_l + e_{2l}| |\hat{g}_{2l} + e_{2l}| \right) \left(\sqrt{a_1 P_s} x_1 + \sqrt{a_2 P_s} x_2 \right) \right] + n_{U2}$$

Sinyal yang diterima oleh Penerima 2 oleh Penerima 1:

$$y_{U1,U2} = |\hat{h}_{D_3}| \sqrt{P_{U1}} x_2 + n_{U2} = \left[|\hat{h}_{D_3} + e_{D_3}| \right] \sqrt{P_{U1}} x_2 + n_{U2}$$

Keterangan:

$$h_k = \hat{h}_k + e_k \quad \text{dan} \quad g_k = \hat{g}_k + e_k$$

$$e_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_{e_k}^2)$$

$$\Omega_k = d_k^{-\nu}$$

$$\mathbb{E}(|h_k|^2) = \Omega_k$$

$$\widehat{\Omega}_k = \Omega_k - \sigma_{e_k}^2$$

$$\eta_k = \frac{\sigma_{e_k}^2}{\Omega_k}$$

$$\sigma_{e_k}^2 = \eta_k d_k^{-\omega}$$

$$\widehat{\Omega}_k = (1 - \eta_k) d_k^{-\omega}$$

ggul

Universitas
Esa Unggul

Table 1. Notations.

Notation	Definition
$s(t)$	superpose of the signal that is targeted to Near User (U_1) and Far User (U_2)
P_s	the normalized power of a transmitted signal
P_t	the normalized power of the transmission signal at U_1
a_1 and a_2	the level power of the signal x_1 and x_2 , respectively
L	number of RIS elements
α	the amplitude reflection coefficient with $\alpha \in (0,1]$
ϕ	the adjustable phase applied by the i -th reflecting element of RIS
β_k	the large-scale fading coefficients of channel k
Ω_k	the link power of channel k
$\bar{\Omega}_k$	the average connection power of channel k
\hat{h}_k	average fading coefficient of channel k
\tilde{h}_k	the fading coefficient of channel k
\hat{X}_v	average gain of fading coefficient by RIS for the v -user
X_v	gain of fading coefficient by RIS for the v -user
ϵ_k	channel estimation error
$\sigma_{\epsilon_k}^2$	variant of channel estimation error
η_k	relative channel estimation error of channel k
m_v	the shape factor of the gamma distribution of the channel at v
Z	path-loss exponent
d_k	the distance of two points crossed by the channel k
$P_{(.)}$	outage probability at (..)
n_{U_1} and n_{U_2}	the AWGN at U_1 and U_2 , respectively
$d_{BS-U_1}, d_{BS-U_2}, d_{RIS-U_1}$	the distances for $BS - U_1$, $BS - RIS$, and $RIS - U_1$, respectively
$d_{BS-U_2}, d_{BS-RIS}, d_{RIS-U_2}$	the distances for $BS - U_2$, $BS - RIS$, and $RIS - U_2$, respectively
$h_{1k}, h_{2k}, h_r, g_{1k}, g_{2k}$	the coefficients of fading channels
ρ_s	the transmit signal to noise ratio (SNR)
$\rho_{U_2 \rightarrow U_1}$	the received signal to interference and noise ratio (SINR) for U_2 to decode signal x_2 of U_1
ρ_{U_1}, ρ_{U_2}	the received SINR for U_1 and U_2 to decode its own signal, respectively
ρ_{U_2,U_1}	the received SINR for U_2 to decode signal x_1 for relaying link
$\rho_{U_2}^{SC}$	the received SINR after selection combining (SC) at U_2
ρ_{u_1} and ρ_{u_2}	target SINR of user u_1 and u_2 , respectively
R_1 and R_2	target rate of user u_1 and u_2 , respectively
P_{U_1} and P_{U_2}	outage probability at U_1 and U_2
τ_1, τ_2 and τ_3	as the <i>first-comparison-parameter</i> , the <i>second-comparison-parameter</i> and the <i>third-comparison-parameter</i>
λ_1, λ_2	interference and noise due to the using of RIS-aided at U_1 and U_2 , respectively
δ_1, δ_2	the scale factor of the gamma distribution of the channel at U_1 and U_2 , respectively

Probability Density Function (PDF) :

$$f_{|h_k|^2}(y) = \frac{m_k^{m_k} d_k^{xm_k} y^{m_k-1}}{(1-\eta_k)^{m_k} \Gamma(m_k)} e^{-\frac{m_k d_k^x y}{1-\eta_k}}$$

Cummulative Distribution Function (CDF) :

$$F_{|h_k|^2}(y) = \frac{\gamma\left(m_k, \frac{m_k d_k^x y}{(1-\eta_k)}\right)}{\Gamma(m_k)}$$

Probability Density Function (PDF) :

$$f_{|h_k|^2}(x) = \frac{m_k^{m_k} d_k^{\omega m_k} x^{m_k - 1}}{(1 - \eta_k)^{m_k} (m_k - 1)!} e^{-\frac{m_k d_k^\omega x}{1 - \eta_k}}$$

Cummulative Distribution Function (CDF) :

$$F_{|h_k|^2}(x) = 1 - e^{-\frac{m_k d_k^\omega x}{1 - \eta_k}} \sum_{i=0}^{m_k - 1} \frac{1}{i!} \left(\frac{m_k d_k^\omega x}{1 - \eta_k} \right)^i$$

Outage Probability Performance

Rasio sumber thd interferensi dan noise (SINR) pada U_1 , karena sinyal yang diterima oleh U_1 dan untuk mendekode sinyal x_2 dari U_2

$$\begin{aligned}\rho_{U_2 \rightarrow U_1} &= \frac{\left(\sum_{l=1}^L \left| \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{1l} \right\|^2 + \left| \hat{h}_{D_1} \right|^2 \right) a_2 P_s}{\left(\left| \hat{h}_{D_1} \right|^2 \right) a_1 + \left(\left| \sum_{l=1}^L \left| \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{1l} \right\|^2 \right) a_1 + \left(\sigma_{D_1}^2 + \frac{\sigma_l^2}{L} \times \frac{\sigma_{1l}^2}{L} \right) \right) P_s + N_0} \\ &= \frac{\left(\sum_{l=1}^L \left| \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{1l} \right\|^2 + \left| \hat{h}_{D_1} \right|^2 \right) a_2 \rho_s}{\left(\left| \hat{h}_{D_1} \right|^2 + \left| \sum_{l=1}^L \left| \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{1l} \right\|^2 \right) a_1 \rho_s + \eta_{SU_1} \left(d_{SU_1}^{-\chi} \right) \rho_s + \frac{\eta_{SR_1}}{L} \left(d_{SR_1}^{-\chi} \right) \times \frac{\eta_{RU_1}}{L} \left(d_{RU_1}^{-\chi} \right) \rho_s + 1}\end{aligned}$$

SINR di pada U_1 , karena sinyal yang diterima oleh U_1 dan untuk mendekode sinyal yang diterima sendiri.

$$\rho_{U_1} = \frac{\left(\sum_{l=1}^L \left\| \hat{h}_l \right\| \left\| \hat{g}_{1l} \right\|^2 + \left\| h_{D_1} \right\|^2 \right) a_1 \rho_s}{\eta_{SU_1} \left(d_{SU_1}^{-\chi} \right) a_1 \rho_s + \frac{\eta_{SR_1}}{L} \left(d_{SR_1}^{-\chi} \right) \cdot \frac{\eta_{RU_1}}{L} \left(d_{RU_1}^{-\chi} \right) a_1 \rho_s + 1}$$

Outage probability adalah kejadian komplementer pada U_1 , ketika U_1 berhasil mengkodekan sinyal x_2 dan sinyalnya sendiri.

$$P_{U_1} = 1 - \Pr(\rho_{U_2 \rightarrow U_1} > \rho_{Th_2}, \rho_{U_1} > \rho_{Th_1})$$

$$P_{U_1} = 1 - \Pr(|X_1|^2 > \tau_2, |X_1|^2 > \tau_1)$$

$$P_{U_1} = 1 - \Pr\left(\left|\hat{X}_1\right|^2 > \max(\tau_2, \tau_1)\right)$$

$$P_{U_1} = 1 - \left(\left| \hat{X}_1 \right|^2 > \tau \right)$$

$$P_{U_1} = F_{\left|X_{U_1}\right|^2}(\tau) = 1 - e^{-\delta_1 \tau} \sum_{j=0}^{m_1-1} \frac{(\delta_1 \tau)^j}{j!}$$

$$\rho_{Th_1} = \frac{(2^{2R_1}-1)}{\rho_s}$$

$$\rho_{Th_2} = \frac{(2^{2R_2}-1)}{\rho_s}$$

$$\tau_1 = \frac{\lambda_1 \rho_{Th_1}}{a_1 \rho_s}$$

$$\tau_2 = \frac{\lambda_1 \rho_{Th_2}}{(a_2 - a_1 \rho_{Th_2}) \rho_s}$$

$$\lambda_1 = \eta_{SU_1} \left(d_{SU_1}^{-\chi} \right) \rho_s + \frac{\eta_{SR_1}}{L} \left(d_{SR_1}^{-\chi} \right) \cdot \frac{\eta_{RU_1}}{L} \left(d_{RU_1}^{-\chi} \right) \rho_s + 1$$

$$\delta_1 = \frac{m_1}{L} \left(\frac{d_{SU_1}^{\chi}}{1 - \eta_{SU_1}} + \left(\frac{d_{SR_1}^{\chi}}{(1 - \eta_{SR_1})} \times \frac{d_{RU_1}^{\chi}}{(1 - \eta_{RU_1})} \right) \right)$$

$$m_1 = \frac{2 \left(\beta_{SU_1} + \eta_{SU_1} \left(d_{SU_1} \right)^{-\omega} \right)^2 + 4L \left(\beta_{SU_1} + \eta_{SU_1} \left(d_{SU_1} \right)^{-\xi} \right) \left(\beta_{SR_1} + \eta_{SR_1} \left(d_{SR_1} \right)^{-\omega} \right) \left(\beta_{RU_1} + \eta_{RU_1} \left(d_{RU_1} \right)^{-\omega} \right) + \left(2L^2 + 2L \right) \left(\beta_{SR_1} + \eta_{SR_1} \left(d_{SR_1} \right)^{-\omega} \right)^2 \left(\beta_{RU_1} + \eta_{RU_1} \left(d_{RU_1} \right)^{-\omega} \right)^2}{\left(\beta_{SU_1} + \eta_{SU_1} \left(d_{SU_1} \right)^{-\omega} \right)^2 + 2L \left(\beta_{SU_1} + \eta_{SU_1} \left(d_{SU_1} \right)^{-\omega} \right) L \left(\beta_{SR_1} + \eta_{SR_1} \left(d_{SR_1} \right)^{-\omega} \right) \left(\beta_{RU_1} + \eta_{RU_1} \left(d_{RU_1} \right)^{-\omega} \right) + \left(L^2 + 2L \right) \left(\beta_{SR_1} + \eta_{SR_1} \left(d_{SR_1} \right)^{-\omega} \right)^2 \left(\beta_{RU_1} + \eta_{RU_1} \left(d_{RU_1} \right)^{-\omega} \right)^2}$$

Outage Probability Performance

Outage probability at U_2 , beberapa langkah perlu diambil.

- Pertama, U_2 hanya perlu memperlakukan sinyal x_1 dari U_1 sebagai noise untuk memecahkan kode sinyalnya sendiri. SINR yang diterima untuk U_2 yang menerjemahkan sinyal x_2 -nya sendiri dinyatakan dengan

$$\begin{aligned}\rho_{2,U2} &= \frac{\left(\left| \sum_{l=1}^L \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{1l} \right\|^2 + \left| \hat{h}_{D_1} \right|^2 \right) a_2 P_s}{\left(\left| \hat{h}_{D_2} \right|^2 \right) a_1 + \left(\left| \sum_{l=1}^L \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{2l} \right\|^2 \right) a_1 + \left(\sigma_{D_2}^2 + \frac{\sigma_l^2}{L} \times \frac{\sigma_{2l}^2}{L} \right) P_s + N_0} \\ &= \frac{\left(\left| \hat{h}_{D_2} \right|^2 + \left| \sum_{l=1}^L \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{2l} \right\|^2 \right) a_2 \rho_s}{\left(\left| \hat{h}_{D_2} \right|^2 + \left| \sum_{l=1}^L \hat{h}_l \right| \left\| \hat{g}_{2l} \right\|^2 \right) a_1 \rho_s + \eta_{SU_2} \left(d_{SU_2}^{-\chi} \right) \rho_s + \frac{\eta_{SR_2}}{L} \left(d_{SR_2}^{-\chi} \right) \cdot \frac{\eta_{RU_2}}{L} \left(d_{RU_2}^{-\chi} \right) \rho_s + 1}\end{aligned}$$

SINR yang diterima untuk U2 untuk memecahkan kode sinyal x2 untuk tautan relai dinyatakan dengan

$$\rho_{U_1U_2} = \frac{\left| \hat{h}_{D_3} \right|^2 \rho_{U1}}{\eta_{U_1U_2} \left(d_{U_1U_2} \right)^{-\chi} \rho_{U1} + 1}$$

$$\rho_{U_2}^{SC} = \frac{\left| \hat{h}_{D_3} \right|^2 \rho_{U1}}{\eta_{U_1U_2} \left(d_{U_1U_2} \right)^{-\chi} \rho_{U1} + 1} + \frac{\left(\left| \hat{h}_{D_2} \right|^2 + \left| \sum_{l=1}^L \hat{h}_l \right| \left| \hat{g}_{2l} \right|^2 \right) a_2 \rho_s}{\left(\left| \hat{h}_{D_2} \right|^2 + \left| \sum_{l=1}^L \hat{h}_l \right| \left| \hat{g}_{2l} \right|^2 \right) a_1 \rho_s + \eta_{SU_2} \left(d_{SU_2}^{-\chi} \right) \rho_s + \frac{\eta_{SR_2}}{L} \left(d_{SR_2}^{-\chi} \right) \cdot \frac{\eta_{RU_2}}{L} \left(d_{RU_2}^{-\chi} \right) \rho_s + 1}$$

Peristiwa pemadaman U_2 terjadi jika salah satu dari dua peristiwa berikut terpenuhi. Peristiwa pertama terjadi ketika U_1 tidak dapat memecahkan kode sinyal x_2 . Peristiwa kedua terjadi ketika U_2 tidak dapat mendekode sinyal x_2 nya sendiri meskipun faktanya U_1 mampu memecahkan kode sinyal x_2 .

$$P_{U_2} = \Pr(\rho_{1,U_2} < \rho_{Th_2}) + \Pr(\rho_{2,U_2} < \rho_{Th_2}, \rho_{1,U_2} > \rho_{Th_2})$$

$$P_{U_2} = 1 - e^{-(\delta_1\tau_2 + \delta_2\tau_3)} \sum_{j=0}^{m_1-1} \sum_{k=0}^{m_2-1} \frac{(\delta_1\tau_2)^j (\delta_2\tau_3)^k}{j!k!}$$

$$m_2 = \frac{2\left(\beta_{SU_2} + \eta_{SU_2}(d_{SU_2})^{-\omega}\right)^2 + 4L\left(\beta_{SU_2} + \eta_{SU_2}(d_{SU_2})^{-\omega}\right)\left(\beta_{SR_2} + \eta_{SR_2}(d_{SR_2})^{-\omega}\right)\left(\beta_{RU_2} + \eta_{RU_2}(d_{RU_2})^{-\omega}\right) + (2L^2 + 2L)\left(\beta_{SR_2} + \eta_{SR_2}(d_{SR_2})^{-\omega}\right)^2\left(\beta_{RU_2} + \eta_{RU_2}(d_{RU_2})^{-\omega}\right)^2}{\left(\beta_{SU_2} + \eta_{SU_2}(d_{SU_2})^{-\omega}\right)^2 + 2L\left(\beta_{SU_2} + \eta_{SU_2}(d_{SU_2})^{-\omega}\right)L\left(\beta_{SR_2} + \eta_{SR_2}(d_{SR_2})^{-\omega}\right)\left(\beta_{RU_2} + \eta_{RU_2}(d_{RU_2})^{-\omega}\right) + (L^2 + 2L)\left(\beta_{SR_2} + \eta_{SR_2}(d_{SR_2})^{-x\omega}\right)^2\left(\beta_{RU_2} + \eta_{RU_2}(d_{RU_2})^{-\omega}\right)^2}$$

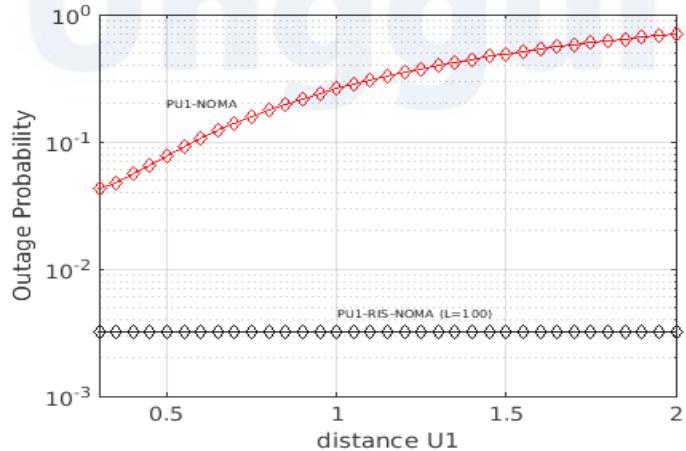
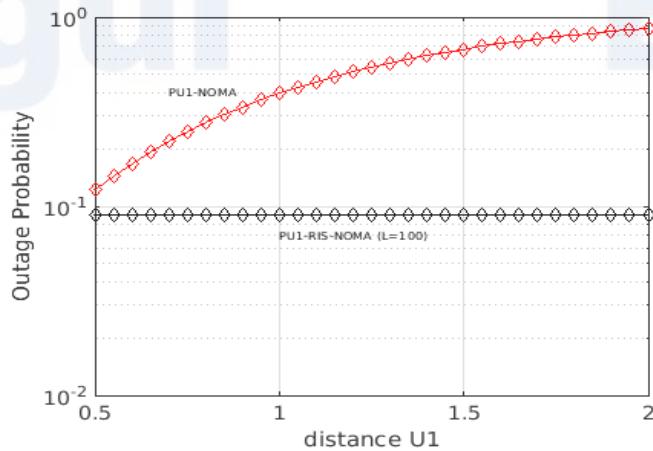
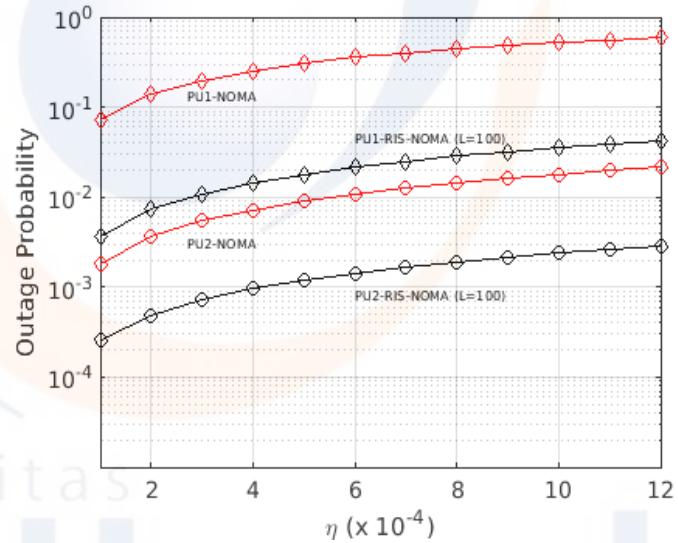
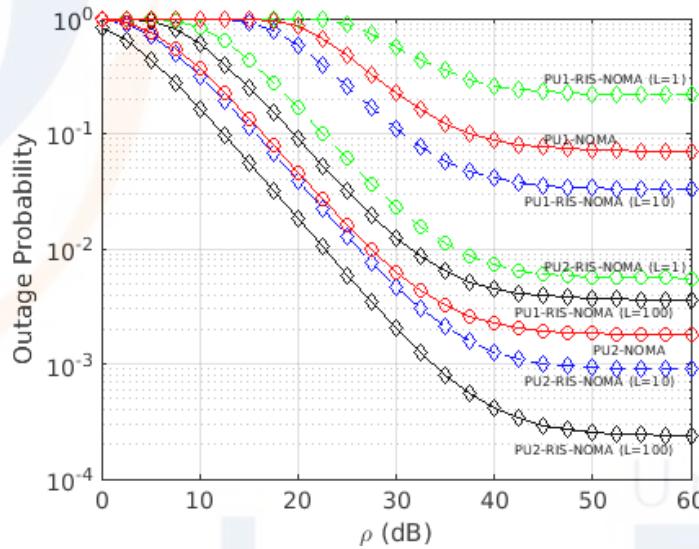
$$\tau_2 = \frac{\lambda_1 \rho_{Th_2}}{(a_2 - a_1 \rho_{Th_2}) \rho_s} \quad \quad \tau_3 = \frac{\lambda_2 \rho_{Th_2}}{\rho_s}$$

$$\lambda_2 = \eta_{SU_2}(d_{SU_2}^{-\chi})\rho_s + \frac{\eta_{SR_2}}{L}(d_{SR_2}^{-\chi}) \cdot \frac{\eta_{RU_2}}{L}(d_{RU_2}^{-\chi})\rho_s + 1$$

$$\delta_2 = \frac{m_2}{L} \left(\frac{d_{SU_2}^\chi}{(1-\eta_{SU_2})} + \left(\frac{d_{SR_2}^\chi}{(1-\eta_{SR_2})} \times \frac{d_{RU_2}^\chi}{(1-\eta_{RU_2})} \right) \right)$$

Table 2. Simulation Parameters

Description	RIS-aided NOMA
Power allocation coefficient	$\alpha_1 = 0.2, \alpha_2 = 0.8$
Path loss exponent	$\chi_k = 2; k \in \{SU_1, SR_1, RU_1, SU_2, SR_2, RU_2, U_1U_2\}$
Relative channel estimation error	$\eta_k = 1 \times 10^{-4} - 9 \times 10^{-4}; k \in \{SU_1, SR_1, RU_1, SU_2, SR_2, RU_2, U_1U_2\}$
Distance between two nodes	$d_{SU_1} = 0.05(50m), d_{SR_1} = d_{SR_2} = 0.06(60m), d_{RU_1} = 1, d_{SU_2} = 0.04 - 1,$ $d_{RU_2} = 0.04 - 1, d_{UU_2} = 1 - d_{SU_1}$
Transmit SNR	$\rho_s = 0 \sim 60dB$
The antenna gain at transmitter and receiver	$G_t = 3.2dB, G_r = 1.3dB$
Target Rate	$R_1 = 3.6BPCU, R_2 = 1BPCU$



Kesimpulan

- Studi ini telah menggunakan distribusi Gamma yang tidak lengkap dan distribusi Gamma dengan informasi statistik saluran (CSI) dan asumsi melalui saluran Nakagami- m untuk mendapatkan pendekatan ekspresi dari kemungkinan coverage (Outage Probability) untuk jaringan kooperatif komunikasi nirkabel NOMA yang mana RIS diterapkan untuk *arbitrary shift phase*. Sebaliknya kami mempertimbangkan Rayleigh untuk *channel error*.
- Hasil simulasi menunjukkan bahwa RIS-aided NOMA memiliki outage probability yang lebih rendah daripada NOMA konvensional.
- Selain itu, lokasi optimal untuk pengguna yang berperan sebagai peng-relay di jaringan NOMA berbantuan RIS dan NOMA konvensional harus dekat dengan BS.

**TERIMA KASIH
ATAS PERHATIANNYA**